



LANTBRUKSHÖGSKOLAN  
UPPSALA

---

# Höjning av nivåerna vid lågvatten- föring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövstabruk

*En preliminär utredning*

Anders Bjerketorp

---

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK

STENCILTRYCK NR 75

UPPSALA 1974

Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns  
vattensystem uppströms Lövstabruk. En preliminär utredning.

Av

Anders Bjerketorp

LANTBRUKSHÖGSKOLAN

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

STENCILTRYCK NR 75

UPPSALA 1974

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
1. INLEDNING	1
2. NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN	1
3. AVGRÄNSNING AV DÄMNINGSVERKAN INOM VATTENSTÅNDSAMPLITUDEN	2
4. ANORDNINGAR OCH ÅTGÄRDER FÖR DÄMNINGENS UPPNÅENDE OCH BEGRÄNSNING	2
a) Överfallsvärn (Överfallsdammar)	2
b) Bottenuppreprensning	4
c) Resultterande vattenföringskurvor (avbördningskurvor)	5
5. DÄMNINGARNAS UPPSTRÖMSVERKNINGAR. DÄMNINGSKURVOR	5
6. NÅGOT OM DET TEKNISKA UTFÖRANDET	8
7. UPPDÄMNING MED 0,39 METER	8
a) Med orubbad gräns (27,21 mNN) för dämningssverkan (dämningssalternativ D39)	9
b) Med förhöjd gräns för dämningssverkan (dämningssalternativ D20:39 etc.)	9
8. ANDRA VÄRNALTERNATIV ÄN DE REKTANGULÄRA OCH TRAPETSFORMIGA	12
9. NÅGRA SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER	15
10. LITTERATURFÖRTECKNING	17
11. BILAGOR	19
Bilaga 1: Åfåremorfologi samt vattenföringskurva vid Pierreslutan, Lövestabruk	(20)
Bilaga 2: Principerna för utformningen av överfallsvärnen jämte sektionsritningar över värnen enligt alternativen D20-D29	(29)
Bilaga 3: Nya vattenföringskurvor för Pierreslutan, Lövestabruk	(36)
Bilaga 4: Jämförelse av vattenföringseffektiviteten mellan ett rektangulärt och ett triangulärt överfallsvärn med samma differenser mellan de nivåer vid vilka två givna flödesvärden är förverkligade	(41)
Bilaga 5: Underrättelse om pågående utredning rörande höjning av nivåerna vid lågvattenföring i sjökedjan i Forsmarksåns vattensystem uppströms Pierreslutan vid Lövestabruk (Avgiven till Länsstyrelsens i Uppsala län Naturvårdsenhet den 21 december 1973 av Anders Bjerketorp)	(53)

Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

## 1. INLEDNING

I enlighet med Länsstyrelsens i Uppsala län uppdrag har författaren undersökt problemet att höja vattenstånden vid liten vattenföring i sjökedjan uppströms den s.k. Pierreslutan vid Lövestabruk i Forsmarksåns vattensystem.

Det givna problemet kan sägas vara trefaldigt. För det första bör lämpliga kriterier sökas för avgränsning av dämningsverknings inom vattenståndsamplituden (eller flödesamplituden). För det andra skall sådana anordningar beräknas och konstrueras att en viss dämning åstadkommes vid och endast vid vattenföringar lägre än den som de framtagna avgränsningskriterierna anger. Dämningen skall vid varje bestämd vattenföring vara av en given storlek. För det tredje skall uppströmsverkningsarna av en viss dämning beräknas eller skattas.

## 2. NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN

Den nuvarande utformningen av åfåran kring Pierreslutan och denna utformnings avspeglning i denna passages vattenföringskurva (avbördningskurva) framgår av bilaga 1 ("Åfåremorfologi samt vattenföringskurva vid Pierreslutan, Lövestabruk").

Tolv tvärprofiler, varav en är lånad från Ingmar (1973), beskriver ganska ingående åfårans morfologi. Fyra av profilerna (3-8) visar också resultatet av sondering ner till fast botten (berg?). Av dessa framgår att ett tämligen mäktigt lager sediment avsatts närmast framför slutan. Dessa avlagringar tunnas snabbt ut strax uppströms tvärsektion 1. Nedströms sektion 8 återfinnes ytterligare en avlagring, med huvudvikten av kornstorleksfördelningen förlagd till betydligt grövre fraktioner än det förstnämnda sedimentet. De hydrauliska förhållandena kring slutarpassagen, liksom själva förekomsten av avlagringarna, gör det högst sannolikt att åfåran är tämligen snabbt föränderlig med tiden. Detta framgår också direkt av profil 8, med dess tre olika bottenutformningar, åren 1965, 1969 och 1973.

Ingenting tyder emellertid på att förändringarna skulle vara så omfattande att de påverkar mer än det allra lägsta registret av vattenföringskurvan. Den vattenföringskurva som avslutar bilaga 1 (sid B1:9) torde därför gälla även idag, med undantag av en viss osäkerhet rörande de lägsta vattenföringarna (under ca  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Vattenföringskurvan konstruerades ursprungligen 1966, men reviderades i oktober 1973, sedan författaren påträffat protokollet från ytterligare en mätning, en mätning som dessutom var utförd vid den intressanta nivån 26,73 mNN, dvs. exakt vid NLV!<sup>1)</sup> Den äldre versionen finns återgiven i Ingmar (1973). Med stöd av den anger Ingmar (sid 21) vattenföringen vid NLV till  $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den reviderade kurvan visar att detta värde är för högt. En rik-  
tigare angivelse är  $0,33 \text{ à } 0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3. AVGRÄNSNING AV DÄMNINGSVERKAN INOM VATTENSTÅNDSAMPLITUDEN

Vid författarens inledande beräkningar enligt den den 21 december 1973 daterade underrättelsen till Länsstyrelsens i Uppsala län Naturvårdsenhet rörande utredningens fortlöpande (Bilaga 5), lät jag dämningssverkan upphöra först vid tämligen höga vattennivåer, nämligen 27,60 mNN/1900/ enligt underrättelsens alternativgrupp I och 27,80 mNN/1900/ enligt alternativgrupp II. Med hänsyn till samspelet mellan dämningshöjd och tänkbara skogsmarksskador, har nu en annan primärmodell prövats. Som avgörande kriterium för den gränshöjd över vilken ingen dämningssverkan tillåts, har valts tallens nedergräns nära Pierreslutan (Ingmar 1973, s. 19) minus 5 cm, dvs.  $27,26 - 0,05 = 27,21 \text{ mNN}/1900/$ . Vattenståndens varaktighet över nivån 27,21 mNN/1900/ ökas alltså inte enligt primärmodellen. I avdelning 7b undersöks emellertid också en sekundärmodell med dämningssverkan mer eller mindre förhöjd över nivån 27,21 mNN/1900/.

### 4. ANORDNINGAR OCH ÅTGÄRDER FÖR DÄMNINGENS UPPNÅENDE OCH BEGRÄNSNING

#### a) Överfallssvärn (överfallsdammar)

Bilaga 2 ("Principerna för utformningen av överfallssvärnen jämte sektionsritningar över värnen enligt alternativen D20-D29") visar tio olika värnkonstruktioner, betecknade D20, D21 osv. till D29, vilka kalkylerats att ge en uppdämning av 20 cm, 21 cm osv. till 29 cm vid den avrinning vid dämning som motsvarar den avrinning som skulle ha ägt rum vid NLV, om dämning ej förelegat. Dämningen som sådan min-

1) NLV är beräknat på en 17-årsserie, nämligen åren 1955-1962 och 1964-1972. Samma tidsserie bildar underlag för de övriga karakteristiska vattenstånden (Ingmar 1973).



skar avrinningen något. Detta är lätt att inse. Tappningen av magasinet är i varje ögonblick mindre än under odämda betingelser.

Ytterligare två alternativ, D30 och D31, resulterande i en uppdämning vid NLV-regim av 30 resp. 31 cm, har framräknats men inte redovisats i bilaga 2. Konstituenterna för alternativ D30 är  $\text{tg } \beta_1 = \text{tg } \beta_2 = 2,5$ ;  $b_b = 7,15 \text{ m}$ ;  $b_d = 8,65 \text{ m}$ ;  $H_o = 26,95 \text{ mNN/1900/}$ ;  $q = 13,94 \cdot h_1^{1,52} + 3,90 \cdot h_1^{2,54}$ . Motsvarande värden för alternativ B31 är  $\text{tg } \beta_1 = \text{tg } \beta_2 = 0,0$ ;  $b_b = b_d = 8,70 \text{ m}$ ;  $H_o = 26,97 \text{ mNN/1900/}$ ;  $q = 16,97 \cdot h_1^{1,52}$ .

Tabell 1 ger en översikt över de karakteriserande parametrarna enligt alternativen D20-D31 samt alternativ D39, varom mera i avd. 7a.  $H_o$  betecknar höjden i mNN/1900/ för värnets nederkant, dvs. den nya tröskelhöjden.  $H_q(\text{NLV})$  är den nivå uttryckt i mNN/1900/ vid vilken det för NLV-förhållanden karakteristiska flödet ( $q = q(\text{NLV}) \text{ m}^3/\text{s}$ ) är förverkligat.  $H_q(\text{NLV})$  minus 27,73 ger uppdämningshöjden,  $h_D$ , i meter.  $q_{27,21}$  är det flöde i  $\text{m}^3/\text{s}$  som ett visst överfallsvärn ger vid nivån 27,21 mNN/1900/, dvs. vid tallens nedergräns nära Pierreslutan (enligt Ingmar 1973) minus 0,05 m. Övriga beteckningar framgår av bilaga 2, sid. B2:2. Observera att  $b_d$  är värbredden på nivån 27,25 mNN/1900/. Jämför också med beteckningsförteckningen i bilaga 4, sid. B4:2-3.

Tabell 1. Några karakteriserande parametervärden (se texten) för överfallsvärn enligt alternativen D20-D31 samt enligt alternativ D39.

Alt.	$H_o$	$H_q(\text{NLV})$	$h_D$	$\text{tg } \beta_1$	$\text{tg } \beta_2$	$b_b$	$b_d$	$q_{27,21}$
D20	26,78	26,93	0,20	3,5	2,0	2,60	5,19	1,91
D21	26,80	26,94	0,21	3,0	2,0	3,00	5,25	1,91
D22	26,82	26,95	0,22	3,5	0,5	3,50	5,22	1,92
D23	26,84	26,96	0,23	3,5	0,5	3,90	5,54	1,93
D24	26,86	26,97	0,24	3,25	0,5	4,30	5,76	1,90
D25	26,87	26,98	0,25	2,2	0,5	4,75	5,78	1,93
D26	26,89	26,99	0,26	1,5	1,0	5,25	6,15	1,92
D27	26,91	27,00	0,27	0,0	0,0	6,20	6,20	1,94
D28 <sup>1)</sup>	26,74	27,01	0,28	1,5	1,5	$\begin{Bmatrix} 0,40 \\ 6,40 \end{Bmatrix}$	7,33	1,93
D29	26,94	27,02	0,29	0,0	0,0	7,15	7,15	1,91
D30	26,95	27,03	0,30	2,5	2,5	7,15	8,65	1,93
D31	26,97	27,04	0,31	0,0	0,0	8,70	8,70	1,94
D39	27,08	27,12	0,39	0,0	0,0	22,00	22,00	1,93

1) Observera den speciella utformningen av överfallsvärnet enligt alternativ D28, vilket gör att värdena för detta alternativs  $H$  och  $b$  inte faller in i det mönster de övriga alternativen motsvarande värden bildar.

Understrykas bör att värnen i samtliga fall föreslås uppbyggda från  $H_0$ , dvs. tröskelhöjden, till nivån 27,25 mNN/1900/.

Eftersom det i här berörda sammanhang ofta händer att begreppet tröskel och tröskelsektion diskuteras, torde det vara på sin plats att påminna om att en tröskels höjning eller sänkning i och för sig säger rätt litet om förändringen av de hydrauliska betingelserna. Man måste också känna till profilens utformning före och efter ingreppet, liksom till aktuell flödesmängd, fallförhållanden m.m.

Av tabell 2 framgår vilka värnlägen (se bilaga 1, sid. B1:2 och bilaga 2, sid. B2:2) och ingrepp som de olika dämmningsalternativen D20-D31 förutsätter i nu befintliga profiler. Dessutom upptages alternativ D39, till vilket vi återkommer i avdelning 7a.

Tabell 2. Värnlägen och behov av ingrepp i befintliga profiler.

Dämmningsalternativ	Värnläge	Ingrepp
D20-D22	B	Inga el. små
D23-D24	B	Måttliga
D25	B	Rel. stora
D26-D27	A	Inga el. små
D28-D29	A	Måttliga
D30-D31	A	Rel. stora
D39	A <sup>e</sup>	Mycket stora

#### b) Bottenupprensning

Lika viktigt för det funktionella slutresultatet som själva överfallsvärnen är vissa ingrepp i själva åfåran. Denna föreslås bli upprensad ned till fast botten, eller åtminstone till nivån 26,00 mNN/1900/, 20 m uppströms och 25 m nedströms slutarportens smalaste del (tvärsektion 7a). Denna åtgärd är oundgänglig för att de hydrauliska beräkningarna skall stämma. Åtgärden minskar t.ex. överfallsstrålarnas submergens (täckning) så mycket att denna kan försummas vid beräkning av flödet över värnen.

Kvalificerad information om submergerade överfallsvärn lämnas i de klassiska arbetena Bazin (1894, 1898), som redogör för experiment, vilka måhända inom detta område är oöverträffade såväl i omfattning som i fråga om noggrannhet i utförande och bearbetning. Redogörelserna är emellertid rätt voluminösa. Mera förtätad och praktiskt inriktad information kan hämtas från t.ex. Venard & Weston (1943) och

Villemonte (1947).

c) Resultterande vattenföringskurvor (avbördningskurvor)

Den sammantagna effekten av åtgärderna enligt punkterna a) och b) illustreras i bilaga 3 ("Nya vattenföringskurvor för Pierreslutan, Lövestabruk"). Var och en av de resulterande vattenföringskurvorna enligt D20 etc.-serien kan sägas bestå av tre zoner. I första zonen, upp till nivån 27,21 mNN/1900/, är överfallsvärnet ensamt bestämmande för kurvans förlopp. I nästa zon, är såväl värnet som slutan bestämmande, den sistnämnda närmast som en submergensgenererare ("täckningsproducent"). Denna zon sträcker sig från 27,21 mNN/1900/ till omkring 27,50 mNN/1900/. Den tredje zonen vidtager sedan. I den är slutan ensam bestämmande för vattenföringskurvornas förlopp.

Vattenföringskurvorna för de tre alternativen D20, D25 och D29, samt för det i avd. 7a behandlade alternativet D39, finns återgivna i bilaga 3, sid. B3:4. Av tydlighetsskäl har endast dessa fyra vattenföringskurvor medtagits vid den grafiska representationen. I vattenståndsregistrets första zon, dvs. vid nivåer lägre än 27,21 mNN/1900/ ligger vattenföringskurvorna för alternativen D21-D24 uppenbarligen mellan kurvorna för D20 och D25, med D22 högre än D21 osv. För samma zon gäller vidare att kurvan för alternativ D26 ligger över kurvan för D25, och att kurvan för D27 ligger mellan kurvorna för D26 och D29. Kurvgrenarna för D30 och D31 ligger något ovanför kurvgrenen för D29, med D31 litet över D30. Kurvan för alternativ D28 har ett speciellt förlopp i första zonen. Den börjar under D20-kurvan, närmare bestämt på nivån 26,74 mNN/1900/, skär efterhand kurvgrenarna för alternativen D20-D27 och når nivån 27,21 mNN/1900/ mellan kurvorna för alternativen D27 och D29.

Observera att den radikala bottenupprensningen medför att vattenföringen vid varje given nivå över 27,21 mNN/1900/ ökar i jämförelse med nuläget!

Begreppet vattenföringskurva utreds ganska ingående i Bjerketorp (1973).

5. DÄMNINGARNAS UPPSTRÖMSVERKNINGAR. DÄMNINGSKURVOR.

Dämningens uppströmsverkan på Ensjön har beräknats teoretiskt enligt Bakhmeteff-Felkels integreringsförfarande. Metoden introducerades redan



1912 av Boris A. Bakhmeteff. Den publicerades då på ryska. På engelska offentliggjordes den först 20 år senare i Bakhmeteff (1932). En klar och koncis beskrivning (på tyska) återfinnes i Klameth (1958). Felkel (1958) ger en något modifierad variant, med tillämpning av begreppet enhetsdämningsvidd (introducerat i Rothmund 1949). Vid beräkningarna har använts utförliga, datamaskinproducerade tabeller (Bjerketorp 1974). Som en kontroll av beräkningsresultatens rimlighet har Westerbergs vidareutveckling av Poirées parabelmetod tillämpats (Westerberg 1924). Poirées förfaringssätt omnämnes, författaren veterligt, för första gången i litteraturen i Chanoine (1839). Det finns i sin ursprungliga form beskrivet i t. ex. Nazzani (1886), i vilket arbete också Funks och Saint-Guilhems besläktade empiriska metoder från 1820 resp. 1837/38 relateras. I mer eller mindre vidareutvecklad form behandlas Poirées metod i Engels (1923), Westerberg (1924) och Andersson (1952). Metoden är egentligen rent matematiskt, ehuru i viss mån empiriskt bekräftad, och saknar underlag i den hydrodynamiska teorin. Trots detta ger den ofta, såsom påpekas i Mononobe (1938), överraskande goda resultat.

Dämningens uppströmsverkan på sjöarna ~~ovanför~~ Ensjön har inte beräknats i egentlig mening, utan skattats med utgångspunkt från samma teorier som ligger till grund för dämningsskurveberäkningen.

Sambanden mellan dämningen vid Pierreslutan och höjningarna vid Ensjön, Finnsjön och Vikasjön framgår av tabell 3. De angivna talen avser de förhållanden som motsvarar normal lägstvattenföring (NLV) utan dämning.

Tabell 3. Korresponderade höjningar av vattennivån i sjökedjan.

Pierreslutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,20	0,13-0,14	0,09	0,06
0,21	0,14	0,10	0,07
0,22	0,15	0,11	0,08
0,23	0,16	0,12	0,09
0,24	0,17	0,13	0,10
0,25	0,18	0,14	0,11
0,26	0,18-0,19	0,14-0,15	0,11-0,12
0,27	0,19-0,20	0,15-0,16	0,12-0,13
0,28	0,20	0,16	0,13
0,29	0,21	0,17	0,14
0,30	0,22	0,18	0,15
0,31	0,23	0,19	0,16
0,39	0,30	0,25	0,21

Talangivelserna för kvarstående dämning i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön är behäftade med en ganska stor osäkerhet. Anledningarna till detta är två. För det första är kännedomen otillräcklig om vattendragsprofilens

förändring med vägen, särskilt på sträckorna uppströms Ensjön. För det andra saknas en riktigt säker fixpunktshöjd för Ensjön. Sannolikt är de av S. O. Berg (Ingmar 1973) angivna fixpunktshöjderna för Pierreslutan och Ensjön något för låga. Detta har för Pierreslutans del konstaterats genom en av författaren år 1968 föranställd noggrann dubbelavvägning av fixpunkten därstädes, vilket också refereras i Ingmar (1973). Resultatet av en kontrollavvägning utförd av Tord Ingmar går i samma riktning (Ingmar 1973, bil. 4). Förmodligen är höjdangivelsen för fixen vid Ensjön ursprungligen relaterad till Pierreslutans fixhöjd och sålunda troligen också för låg. Det rätta förhållandet kan dock endast fastställas genom en mycket tidsödande kontrollavvägning av Ensjö-fixen. I avsaknad av säkra uppgifter härvidlag, har jag liksom Tord Ingmar valt att arbeta med S. O. Bergs höjdangivelser. Skulle emellertid de verkliga fixhöjderna vid Pierreslutan och Ensjön vara t. ex. 0,03 m högre än de vid dämningsskurveberäkningarna använda Bergska fixhöjderna, så innebär detta att den kvardröjande dämningen vid Finnsjön och Vikasjön blir 0,02 à 0,03 m högre än vad tabell 3 anger (kolumnerna 3 och 4).

Trots osäkerheten i beräkningarna av dämningsskurvorna står i alla fall så mycket klart att en avklingning av dämningen måste ske, och att denna avtoning inte kan vara försumbar. Önskas t. ex. samma dämning i Ensjön och Finnsjön som vid Pierreslutan, så måste kompletterande dämningar utföras. Det är inte osannolikt att kompletterande dämningselement förelegat innan de kraftiga mänskliga ingreppen i vattensystemet satte in från och med år 1596<sup>1)</sup>. Detta är fullt uppenbart vad gäller Ensjön. De tröskelpartier som ligger ett stycke nedströms utloppet från denna sjö, behöver på grund av sina lägen nära sjön, inte ha varit så särskilt mycket högre än idag för att kunna ha utgjort ett kompletterande dämningselement av icke försumbar verkan. Ingmar (1973) torde ha underskattat betydelsen av utförda ingrepp i dessa sjönära trösklar. Orsaken till detta kan möjligen vara, att Ingmar inte beaktat dämningsskurveproblematiken och den med sträcklängden tämligen starkt avtagande dämningsshöjdförlusten. Huruvida några liknande dämningselement i gammal tid funnits i vattendragsavsnitten Ensjön-Finnsjön resp. Finnsjön-Vikasjön, undandrar sig författarens bedömning. För att avgöra hur förhållandena här verkligen gestaltat sig under 1500-talet fordras betydligt betydligt bättre kännedom om dessa sträckors recenta morfologi, liksom om de ingrepp som dessa avsnitt eventuellt undergått genom århundradena, än vad författaren besitter och inom ramen för denna utredning rimligtvis kan förvärva. Även "diffusa" dämningselement i form av mera allmänt trängre och/eller skrovligare vattendrag (åfåror) kan förstås också tänkas.

<sup>1)</sup> Detta år anlades Lövsta Kronobruk (Dahlgren 1928).

## 6. NÅGOT OM DET TEKNISKA UTFÖRANDET

Så länge de beslutande instanserna inte tagit ställning till hur stor NLV-uppdämningen skall vara vid Pierreslutan, är det föga meningsfullt att utarbeta detaljerade konstruktionsförslag. Därför ges på detta stadium endast några mer allmänna synpunkter på det tekniska utförandet av ett kommande överfallsvärn.

Utförandet är beroende av om värnet skall vara provisoriskt eller permanent. Ett provisoriskt överfallsvärn bygges lämpligen i trä, med spontade plankor i lodrät ställning, stödda mot liggande, välförankrade bjälkar. Tätningen mot botten vållar vid den provisoriska lösningen - på grund av markförhållandena vid Pierreslutan - betydande problem. Det räcker inte med en aldrig så noggrann inpassning mot den fasta grunden. Författaren talar här av bitter erfarenhet. Någon form av tätning måste till. Tätningen kan göras med t.ex. asfalt eller genom inklädningsduk av exempelvis presenningsväv eller butylgummi. Värnet görs skarpkantat med en skena av järn eller mässing, eller ännu hellre med en skena av mässing, fastskruvad på en skena av järn. En skadad mässingskena kan då lätt bytas ut. Ett permanent överfallsvärn tillverkas helst av armerad betong med armerad anslutning till en väl tilltagen bottenplatta uppströms värnet. Värnkanten göres skarpkantad på samma sätt som i fråga om det provisoriska värnet. Eventuellt behövs vid såväl den provisoriska som den permanenta lösningen anläggas ett kolkningsskydd (stötbotten) på värnets nedströmssida, för att hindra att botten där urgröpes av överfallsstrålen. Stötbotten behöver på grund av vattendragets och de föreslagna uppdämningsvärnens ringa dimensioner ej förses med anordningar för energidissipering.

## 7. UPPDÄMNING MED 0,39 METER

Framställningen har hittills endast behandlat den uppdämning, från 0,20 m och uppåt, som kan åstadkommas under den uttalade förutsättningen att ingen dämningssverkan skall tillåtas över nivån 27,21 mNN/1900/, samt under det uttalade villkoret att ingreppen i nu befintliga åprofiler, skall vara någorlunda begränsade. Om endera eller båda av dessa postulat rubbas, kan givetvis en högre dämning vid NLV än de 0,31 m vi hittills stannat vid, åstadkommas. Skulle man t.ex. vilja åstadkomma en uppdämning med 0,39 m, vilket motsvarar en höjning av vattennivån i Ensjön vid NLV med 0,30 m, så kan detta uppnås på följande alternativa sätt:

a. Med orubbad gräns (27,21 mNN) för dämningssverkan (dämningssalternativ D39)

Detta alternativ förutsätter ett mycket kraftigt ingrepp i den nuvarande åprofilen, innebärande att en ca 22 m "hölj" utgräves ytterligare ett stycke längre uppströms slutan än värnläge A (värnläge A framgår av bilaga 1, sid. B1:2, och bilaga 2, sid. B2:2). Detta nya värnläge kan betecknas A'. Tvärs över denna breda sektionsutvidgning anlägges sedan en vågrät tröskel ( $H_0$ ) på nivån 27,08 mNN/1900/ med längden (dvs.  $b_0$ ) 22,0 m. Detta nya alternativ kan betecknas D39. Sidorna ställes vågrätt ( $\text{tg } \beta_1 = \text{tg } \beta_2 = 0$ ), och  $b_d$  blir följaktligen också 22,0 m. Ekvationen för överfallssvärnets flöde vid  $h_1 \gg 0,07$  m blir  $q = 42,90 \cdot h_1^{1,52}$  (för  $h_1 \leq 0,07$  gäller  $q = 40,68 \cdot h_1^{1,50}$ ). Vidare gäller att  $H_{q(\text{NLV})} = 27,12$  mNN/1900/, dvs. att uppdämningen vid NLV blir 0,39 m.

b. Med förhöjd gräns för dämningssverkan (dämningssalternativ D20:39 etc.)

De angivna alternativa överfallssvärnen enligt förslagen D20-D31 kan ge uppdämningen 0,39 m vid NLV-förhållanden, helt enkelt genom att resp.  $H_0$  (= tröskelhöjd) ökas med beloppen 0,19, 0,18, 0,17 osv. till 0,08 m, medan däremot värnens överkant bibehålles på den tidigare nivån, nämligen 27,25 mNN/1900/. Genom tröskelförhöjningen uppkommer tolv nya alternativ, vilka lämpligen kan betecknas D20:39, D21:39 osv. till D31:39. Till följd av värnöverkantens låsning till nivån 27,25 mNN/1900/ är  $b_d$ -värdet för alla värn med lutande sidor lägre i denna serie än för D20-D31-sekvensen. Dämningssverkans upphörande flyttas upp i vattenståndsregistret med ungefär samma tal som resp. tröskelförhöjning. Tröskelhöjder, tröskelförhöjning och värnbredd framgår av tabell 4.

Vattenföringskurvorna för de tre alternativen D20:39, D25:39 och D29:39 finns återgivna i bilaga 3, sid. B3:5. Vattenföringsregistrets första zon (jfr sid. 5) slutar vid de nivåer där de olika alternativens kurvor skär den hittillsvarande vattenföringskurvan, dvs. där dämningssverkan i de enskilda fallen upphör (jfr tabell 5, kolumn 2). De övriga alternativen, utom alternativ D28:39, faller in mellan och över de utritade kurvorna enligt samma principiella mönster som gäller för D20-D31 (D39)-serien (se sid. 5). Kurvgrenen för alternativ D28:39 börjar på nivån 26,85 mNN/1900/, skär successivt kurvgrenarna för D20:39 - D27:39 och når sin gräns för första zonen (27,32 mNN) mellan kurvorna för alternativen D27:39 och D29:39.

För alternativen D20:39 - D31:39 gäller samma värnlägen som anges för D20-D31 i tabell 2 på sid. 4. Alternativ D20:39 har samma värn-läge som D20, D21:39 samma som D21 etc. Behoven av ingrepp i befintliga åprofiler är desamma eller något mindre för D20:39 - D31:39 som för korresponderande alternativ i serien D20-D31 (se tabell 2, sid. 4).

Gränsnivåerna för dämningssverkans upphörande vid Pierreslutan, Ensjön, Finnsjön och Vikasjön är upptagna i tabell 5. Gränsvärdena erhålles i de tre sistnämnda fallen ur ekvationerna (1), (2) och (3), vilka är deducerade från sjökedjans lutningskaraktistika vid fri (odämd) vattenföring under perioderna 1955-1962 och 1964-1972. Formlerna har varit möjliga att härleda på grund av att det även efter en uppdämning kommer att råda i princip samma fria vattenföring som 1955-1972 just vid de gränsnivåer där dämningssverkan upphör. Gränsnivåerna vid Pierreslutan, Ensjön, Finnsjön och Vikasjön betecknas  $H_{DVP}$ ,  $H_{DVE}$ ,  $H_{DVF}$  resp.  $H_{DVV}$ . Nivåvariablerna för Pierreslutan, Ensjön och Finnsjön betecknas  $H_P$ ,  $H_E$  resp.  $H_F$ .

$$\left. \begin{aligned} H_{DVE} &= f(H_P) = H_P + 0,12 + 6/53 (H_P - 26,73) \\ 26,73 &\leq H_P < \approx 27,50 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} H_{DVF} &= f(H_E) = H_E + 0,08 + 1/59 (H_E - 26,85) \\ 26,85 &\leq H_E < \approx 27,60 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} H_{DVV} &= f(H_F) = H_F + 0,07 - 0,01(H_F - 26,93) \\ 26,93 &\leq H_F < \approx 28,00 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$H_{DVF}$  tecknas alltså som funktion av  $H_E$ , och  $H_{DVV}$  som funktion av  $H_F$ . Mera komplicerade ekvationer, som inte anföres här, uttrycker  $H_{DVP}$  och  $H_{DVE}$  som funktioner av  $H_P$ , dvs. gränsvärdena för dämningssverkans upphörande i Finnsjön och Vikasjön ges som funktioner av motsvarande gränsvärde vid Pierreslutan.

Tabell 4. Ursprunglig (dvs. enl. alt. D20.....D31) tröskelhöjd,  $H_o$ , ny tröskelhöjd,  $H'_o$ , tröskelförhöjning,  $\delta H_o$ , vid övergång från alt. D20.....D31 till alt. D20:30.....D31:39, värnbredd,  $b_b$ , vid överfallskanten, värnbredd,  $b_d$ , på nivån 27,25 mNN/1900/ samt uppdämning,  $h_D$ , vid normalt lägstvatten. Alla mått i mNN/1900/ resp. meter.

Alternativ nr	$H_o$	$H'_o$	$\delta H_o$	$b_b$	$b_d$	$h_D$
D20:39	26,78	26,97	0,19	2,60	4,14	0,39
D21:39	26,80	26,98	0,18	3,00	4,35	0,39
D22:39	26,82	26,99	0,17	3,50	4,54	0,39
D23:39	26,84	27,00	0,16	3,90	4,90	0,39
D24:39	26,86	27,01	0,15	4,30	5,20	0,39
D25:39	26,87	27,01	0,14	4,75	5,40	0,39
D26:39	26,89	27,02	0,13	5,25	5,83	0,39
D27:39	26,91	27,03	0,12	6,20	6,20	0,39
D28:39 <sup>1)</sup>	26,74	26,85	0,11	$\begin{Bmatrix} (0,40) \\ (6,40) \end{Bmatrix}$	7,00	0,39
D29:39	26,94	27,04	0,10	7,15	7,15	0,39
D30:39	26,95	27,04	0,09	7,15	8,20	0,39
D31:39	26,97	27,05	0,08	8,70	8,70	0,39

- 1) Observera den speciella utformningen av överfallsvärnet enligt alternativ D28:39 (liksom vid alternativ D28), vilken gör att värdena för detta alternativs  $H_o$ ,  $H'_o$  och  $b_b$  inte faller in i det mönster som de övriga alternativens motsvarande värden bildar.



Tabell 5. Gränsnivåer för dämningssverkans upphörande vid Pierreslutan, Ensjön, Finnsjön och Vikasjön. Beteckningar enligt texten. Alla höjder i mNN/1900/.

Alternativ	H <sub>DVP</sub>	H <sub>DVE</sub>	H <sub>DVF</sub>	H <sub>DVV</sub>
D20:39	27,40	27,60	27,69	27,75
D21:39	27,39	27,58	27,67	27,73
D22:39	27,38	27,57	27,66	27,72
D23:39	27,37	27,56	27,65	27,71
D24:39	27,36	27,55	27,64	27,70
D25:39	27,35	27,54	27,63	27,69
D26:39	27,34	27,53	27,62	27,68
D27:39	27,33	27,52	27,61	27,67
D28:39	27,32	27,51	27,60	27,66
D29:39	27,31	27,50	27,59	27,65
D30:39	27,30	27,48	27,57	27,63
D31:39	27,29	27,47	27,56	27,62
D20-D31, D39	27,21	27,38	27,47	27,53

Anm.: Tallens ungefärliga nedergräns enligt Ingmar (1973) ligger nära Pierreslutan på nivån 27,26 mNN, vid Ensjön på 27,44 mNN, vid Finnsjön på 27,55 mNN och vid Vikasjön på 27,59 mNN.

#### 8. ANDRA VÄRNALTERNATIV ÄN DE REKTANGULÄRA OCH TRAPETSFORMIGA

Den principiella utformningen av de föreslagna överfallssvärnen medger, att dessa kan vara antingen rektangulära, trapetsformiga eller triangulära (se bilaga 2, sid. B2:2). Något triangulärt värn har dock inte föreslagits, ehuru det i och för sig funnits möjlighet (vilket senare skall visas) att använda sådana inom de lägre av de proponerade upp-dämningssalternativen. Triangelformen har undvikits, därför att jag bedömt det som viktigt, med hänsyn till vattenintressenter nedströms Pierreslutan, att undvika den kraftiga strypning av vattenföringen vid nivåer under NLV, som en användning av den renodlade triangulära värnmodellen skulle medföra. Delvis av samma skäl har jag undvikit att begagna någon polygonal eller någon krökt värnform. I dessa fall tillkommer dock även den invändningen att jag bara haft två givna vattenföringsvärden att anpassa värnnet efter, det ena gällande vid NLV och

det andra vid dämningens upphörande, och att därför en polygonal eller krökt värnform skulle ha måst konstruerats på helt subjektiva grunder. Vidare är differensen,  $\Delta h$ , mellan de nivåer vid vilka de två givna flödena realiserar i allmänhet liten, varför det s.a.s. inte finns mycket spelrum för t.ex. polygonala brytningar av värnsidorna.

Vi övergår nu till att något närmare diskutera de teoretiska förutsättningarna för att byta ut ett rektangulärt värn mot ett triangulärt.

Den ursprungliga målsättningen har varit att konstruera överfallsvärn med sådana egenskaper att de funktionellt uppfyller följande villkor

$$h_D = H_{q(NLV)} - H'_{q(NLV)} = H_{q(NLV)} - 26,73 \quad (4a)$$

$$q_{H(NLV)} = q_{H'}(NLV) - \epsilon \approx 0,33 - 0,03 \approx 0,3 \quad (4b)$$

$$q_{27,21} \approx 1,92 \quad (4c)$$

där  $h_D$  = uppdämningen (m)

$H'_{q(NLV)}$  = NLV = nivån för flödet vid NLV före dämning (mNN)

$H_{q(NLV)}$  = nivån för flödet vid NLV efter dämning (mNN)

$q_{H'}(NLV)$  = flödet vid NLV före dämning ( $m^3/s$ )

$q_H(NLV)$  = flödet vid NLV efter dämning ( $m^3/s$ )

$\epsilon$  = minskning av flödet vid NLV genom dämningen ( $m^3/s$ )

$q_{27,21}$  = flödet vid gränsen för dämningens upphörande i serien D20-D39 ( $m^3/s$ )

De i likheterna (4a), (4b) och (4c) formulerade villkoren kan teoretiskt uppfyllas av ett oändligt antal olika värnutformningar. Ett par praktiska begränsningar finns. För det första får värnets lägsta punkt inte understiga ett visst värde, om värnet skall fungera som överfallsvärn i egentlig mening. För det andra kan man knappast tillåta att värnets största bredd får bli hur stor som helst.

I själva verket utgör rektangeln en mycket effektiv utformning av ett överfallsvärn, när det gäller att s.a.s. utnyttja nivåskillnaden mellan de givna gränserna och utrymmet inom den befintliga profilen. Praktiskt sett kan den emellertid ofta, särskilt i det senare avseendet, något överträffas av trapetsprofilen. Många gånger är nivåskillnaden och profilutrymmet så pass stora att en mindre effektiv utformning än den op-

timala kan tänkas komma till användning. Detta gäller i här aktuellt sammanhang alternativen D20 och D20:39 samt de närmaste högre alternativen i de båda serierna.

Om man jämför effektiviteten av ett triangulärt överfallsvärn med ett rektangulärt kan man, med utgångspunkt från Poleni-Du Buats klassiska betraktelsesätt, visa, att om ett triangelformat överfallsvärn skall vara lika effektivt som ett rektangulärt under av ekvationerna (4a), (4b) och (4c) givna förutsättningen, så måste följande villkor vara uppfyllt

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} &= \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = C_p \cdot b_b^{5/3} \\ C_p &= \frac{15(2/3 M_R)^{5/3} \cdot (2g)^{1/3} \cdot ((q_{27,21})^{2/5} - (q_{H(NLV)})^{2/5})^{5/2}}{8 \cdot M_T ((q_{27,21})^{2/3} - (q_{H(NLV)})^{2/3})^{5/2}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

där  $\beta_1$  och  $\beta_2$  är vinklarna mellan triangelvärnets sidor och vertikalen

$\alpha$  = triangelvärnets öppningsvinkel

$b_b$  = det rektangulära värnets bredd (m)

$M_R$  = utströmningskoefficienten för det rektangulära värnet

$M_T$  = utströmningskoefficienten för det triangulära värnet

$g$  = tyngdkraftsaccelerationen ( $\text{m/s}^2$ )

Om  $q_{27,21} = 1,92$ ,  $q_{H(NLV)} = 0,30$  och  $g = 9,81$  samt under det förenklade antagandet att utströmningskoefficienterna är konstanta och av värdena  $M_R = 0,65$  och  $M_T = 0,60$ , så antar  $C_p$  det approximativa värdet 0,634 och ekvation (5) kan skrivas

$$\operatorname{tg} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \approx 0,634 \cdot b_b^{5/3} \quad (5')$$

I bilaga 4 ges en utförlig härledning av likheten (5) liksom av några andra ekvationer, belysande olika funktionella samband mellan värnparametrar. Dessutom göres en praktisk tillämpning av de funna formlerna på fallet Pierreslutan, varvid framkommer att triangelformen i och för sig kan användas för värn med uppgift att höja NLV-nivån med 20 cm eller något mer. På grund av triangelvärnets strypningseffekt på vattenföringen vid vattenstånd under NLV (jfr sid. 12) vill jag emellertid inte förorda att de tidigare föreslagna trapetsvärnen i något fall utbytes mot triangelvärn.

## 9. NÅGRA SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER

Det synes mig självklart att ett beslut om höjning av den genomsnittliga årslägstvattennivån (normala lägstvattennivån; NLV) i Forsmarks-åns vattensystem uppströms Pierreslutan vid Lövestabruk, anknytes till vattenståndet i någon bestämd sjö i den sammanhängande sjökedjan från Ensjön till Vikasjön, och inte relateras till den i sig själv mindre intressanta nivån vid Pierreslutan. Ett konkret förslag bland flera tänkbara är att låta Ensjöns NLV höjas med ett bestämt belopp, t.ex. med vad som erfordras för att denna sjös NLV skall återställas till det värde som med stor sannolikhet gällde under 1500-talet.

Ingmar (1974) framhåller att Ensjöns genomsnittliga årslägstvattenstånd (NLV) numera troligen är 30 cm lägre än under 1500-talet, till följd av de sammantagna verkningarna av arbeten i alla de bearbetade tröskelpartierna nedströms sjön. Motiveringarna till detta antagande, givna i Ingmar (1973 och 1974), framstår som mycket hållbara. Ingmars undersökningar klargör dessutom att sänkningen av NLV nära uppströms Pierreslutan också varit 30 cm, om man jämför 1500-talets förhållanden med vad som gäller för tidsavsnittet från år 1955 och framåt. Mina egna beräkningar visar emellertid att med den nu förefintliga utformningen av vattendraget mellan Pierreslutan och Ensjön, skulle en höjning av NLV vid Pierreslutan med 30 cm, resultera i att Ensjön höjdes klart mindre än 30 cm. Det är emellertid högst troligt att det under 1500-talet existerat kompletterande dämningselement (se sid. 7) på sträckan mellan Pierreslutan och Ensjön. Av den sammanlagda sänkningen av NLV i Ensjön torde ca tre fjärdedelar härröra från ingreppen i åsektionen vid Pierreslutan och ca en fjärdedel från åtgärder i vattendraget mellan Slutan och Ensjön. Till följd härav är en höjning av NLV vid Pierreslutan till 1500-talsnivå inte tillfyllest för att hålla uppe NLV i Ensjön på den nivå som gällde före år 1596.<sup>1)</sup> Antingen måste en kompletterande höjning göras längre upp mot Ensjön, eller också måste NLV vid Pierreslutan höjas något över 1500-talsnivån. Den senare lösningen är otvivelaktigt den tekniskt sett enklare och den för båtfarten på ån bättre av de båda.

Väljer man att lyfta upp Ensjöns NLV s.a.s. i två steg, åvägbringas den höjning som man bestämmer sig för skall gälla Pierreslutan, med något av alternativen i D20-D31-serien. Sedan får en ny utredning ge svar på frågan om var den kompletterande uppdämningsanordningen längre upp i ån skall läggas och hur den skall utformas.

---

<sup>1)</sup> Detta år anlades enligt Dahlgren (1928) Lövesta Kronobruk.

Önskar man däremot höja Ensjöns NLV enbart genom åtgärder vid Pierreslutan, så måste NLV vid den senare platsen höjas med summan av den beslutade NLV-höjningen vid Ensjön och dämningshöjdförlusten på sträckan mellan Pierreslutan och Ensjön. Vill man t.ex. höja NLV vid Ensjön med 30 cm, så måste NLV vid Pierreslutan höjas 39 cm, vilket kan uppnås genom tillämpning av alternativ D39 eller något av alternativen i D20:39-D31:39-serien. D39-alternativet har fördelen att inte höja dämningssverkan vid Pierreslutan över nivån 27,21 mNN/1900/, dvs. över den nivå som svarar mot tallens nedergräns nära Pierreslutan minus 5 cm. En klar nackdel med detta alternativ är att det nödvändiggör mycket stora ingrepp i den befintliga åprofilen (se sid. 4 och 9). Alternativen enligt D20:39-D31:39-serien är skonsammare mot profilen (se sid. 4 och 10) men ger i gengäld en viss förhöjning av gränsen för dämningssverkans upphörande i vattenståndsregistret (se sid. 9-12). Som framgår av tabell 5 på sid. 12 är denna förhöjning störst för alternativ D20:39 och minst för alternativ D31:39. Ett lämpligt alternativ skulle kunna vara D29:39, vilket till priset av måttliga ingrepp i befintlig åprofil (se sid. 4 och 10) ger den jämförelsevis obetydliga förhöjningen 10 cm av gränsnivån för dämningssverkans upphörande (se sid. 12 och bilaga 3, sid. B3:5).

Jag vill slutligen kraftigt understryka det bestämda önskemål som framföres i Ingmar (1974) om vattenståndsobservationer i sjökedjan efter utförd lågvattenuppdämning. Observationerna bör utföras med registrerande peglar, gärna med sådana som går att omställa till månadsgång. Liksom Tord Ingmar anser jag att lämpliga mätplatser är Pierreslutan, Ensjön, Nybron och Vikasjön. Jag skulle dessutom gärna se att vattenståndet i Fälaren också registrerades, eftersom kännedom om detta ger en viss möjlighet att förutsäga kommande vattenstånd i den centrala sjökedjan.

## 10. LITTERATURFÖRTECKNING

- Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik. I: Elementär hydromekanik. Lantbrukshögskolan. Institutionen för agronomisk hydroteknik. Stenciltryck nr 19. Uppsala.
- Bakhmeteff, B. A. 1932. Hydraulics of open channels. New York. McGraw-Hill.
- Bazin, H. 1894. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, 4<sup>e</sup> article. Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et documents 7:7, s. 249-357, pl. 6-10. Paris.
- Bazin, H. 1898. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, exécutées à Dijon de 1886 à 1895. Paris. Dunod.
- Bjerketorp, A. 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag. Del I: Avkortade metoder vid flygel-mätning: Några allmänna förutsättningar för mätningsproceduren och dess utvärdering. Lantbrukshögskolan. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 60. Uppsala.
- Bjerketorp, A. 1974. Beräkning av dämningsskurvor enligt Bakhmeteff-Felkels integreringsförfarande. Del II: Detaljtabeller över enhetsdämningssvidder. Lantbrukshögskolan. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 74. Uppsala.
- Chanoine, M. 1839. Barrage mobile d'Epineau. Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et documents 9:1, s. 238-280. Paris.
- Dahlgren, E. W. 1928. De uppländska bruken Österby, Forsmark, Leufsta och Gimo under äldsta tider (intill 1627). Med hammare och fackla. Årsbok utgiven av Sancte Örjens Gille (Stockholm) 1, s. 1-88. Stockholm.
- Engels, H. 1923. Handbuch des Wasserbaues. 1. Band, 3. Aufl. Leipzig. Wilhelm Engelmann.
- Felkel, K. 1958. Die Berechnung der Staukurve mit dem Integrierverfahren. Die Bautechnik 35:4, s. 121-125. Berlin.
- Ingmar, T. 1973. Ursprungliga vattenståndsförhållanden mellan Vikasjön och Pierreslutan i Forsmarksåns vattenområde. Länsstyrelsen i Uppsala län. Naturvårdsenheten. Uppsala.



- Ingmar, T. 1974. Angående vattenståndsförhållandena i sjökedjan Vikasjön-Ensjön. Yttrande avgivet till Länsstyrelsen i Uppsala län den 15 februari 1974. Länsstyrelsen i Uppsala län. Naturvårdsenheten. Stencil (7 s.). Uppsala.
- Klameth, E. 1958. Die Verfahren von Bakhmeteff und ihre Anwendung bei der hydraulischen Berechnung für offene Ueberleitungskanäle. Die Wasserwirtschaft 48(1957/58):4, s. 90-97. Stuttgart.
- Mononobe, N. 1938. Back-water and drop-down curves for uniform channels. American Society of Civil Engineers, Transactions 103, s. 950-989. New York.
- Nazzani, I. 1886. Dei rigurgiti di rigonfiamento e di depressione. Trattato di Idraulica Pratica, vol. 2, ed. 2, capo VIII, s. 330-400. Milano. Ulrico Hoepli.
- Rothmund, L. 1949. Die Gleichungen der Stau- und Senkungsweiten für rechteckigen und parabolischen Gerinnequerschnitt und ihre praktische Anwendung. Bautechnik-Archiv 1949:5, s. 25-42. Berlin.
- Vennard, J. K. & Weston, R. F. 1943. Submergence effect on sharp-crested weirs. Engineering News-Record 130:22, s. 814-816. New York.
- Westerberg, N. 1924. Beräkning av uppdämningskurvor. Teknisk Tidskrift. Väg- och Vattenbyggnadskonst 54:2, s. 18-20. Stockholm.
- Villemonte, J. R. 1947. Submerged-weir discharge studies. Engineering News-Record 139:26, s. 866-869. New York.

11. BILAGOR (1-5).

Bilaga 1

till

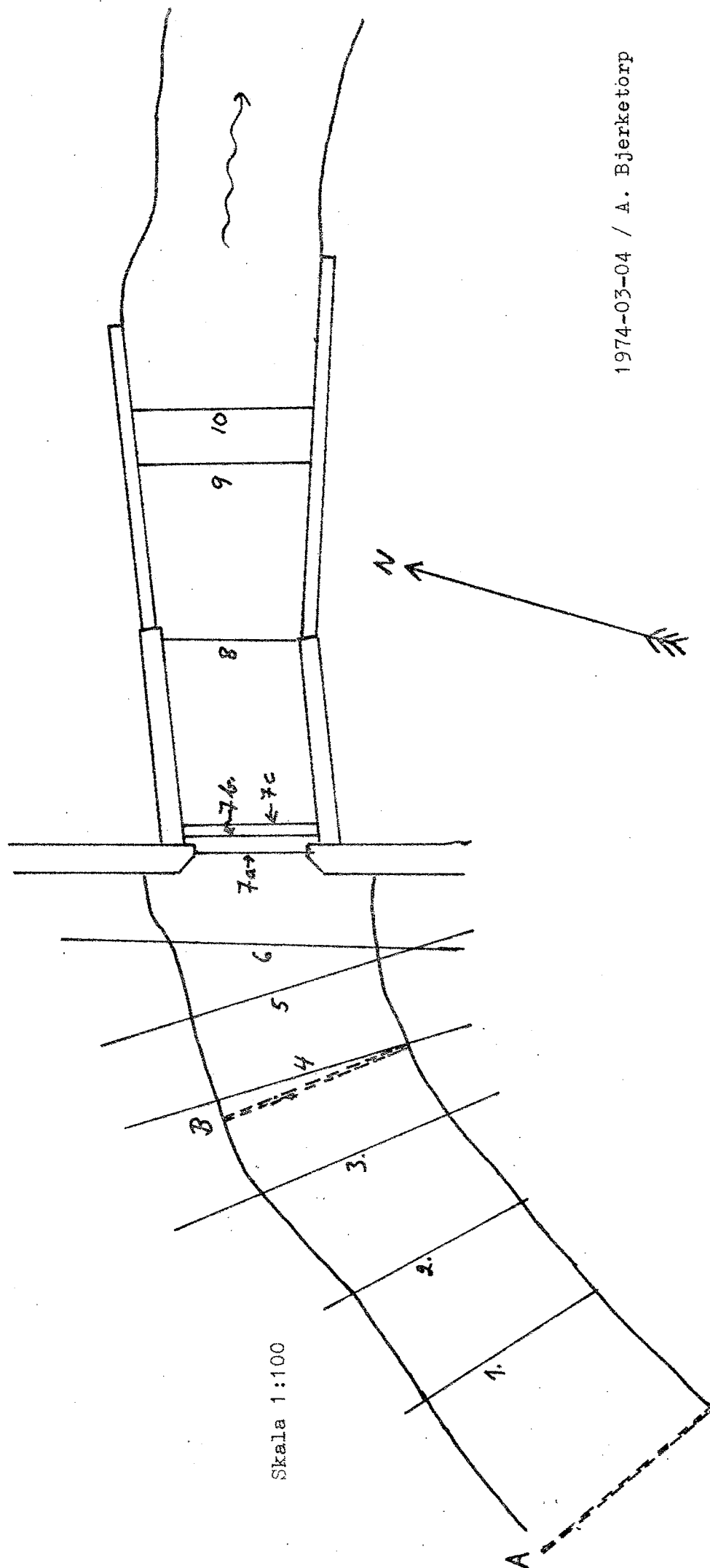
Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem  
uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

Åfåremorfologi samt vattenföringskurva vid Pierreslutan, Lövestabruk

Pierreslutan, Lövestabruk

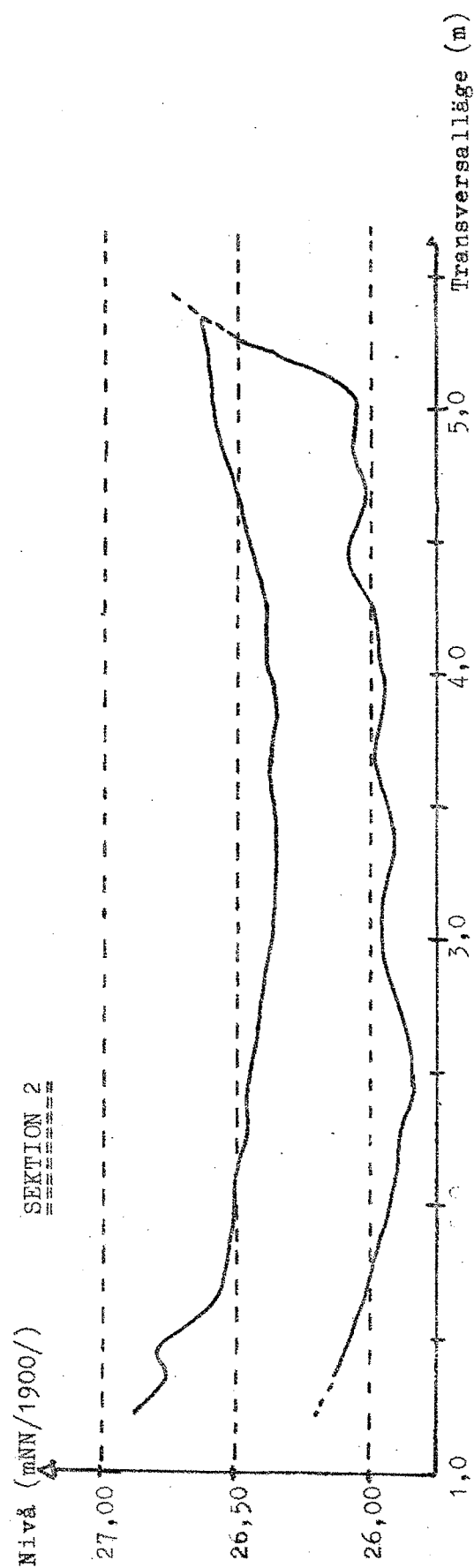
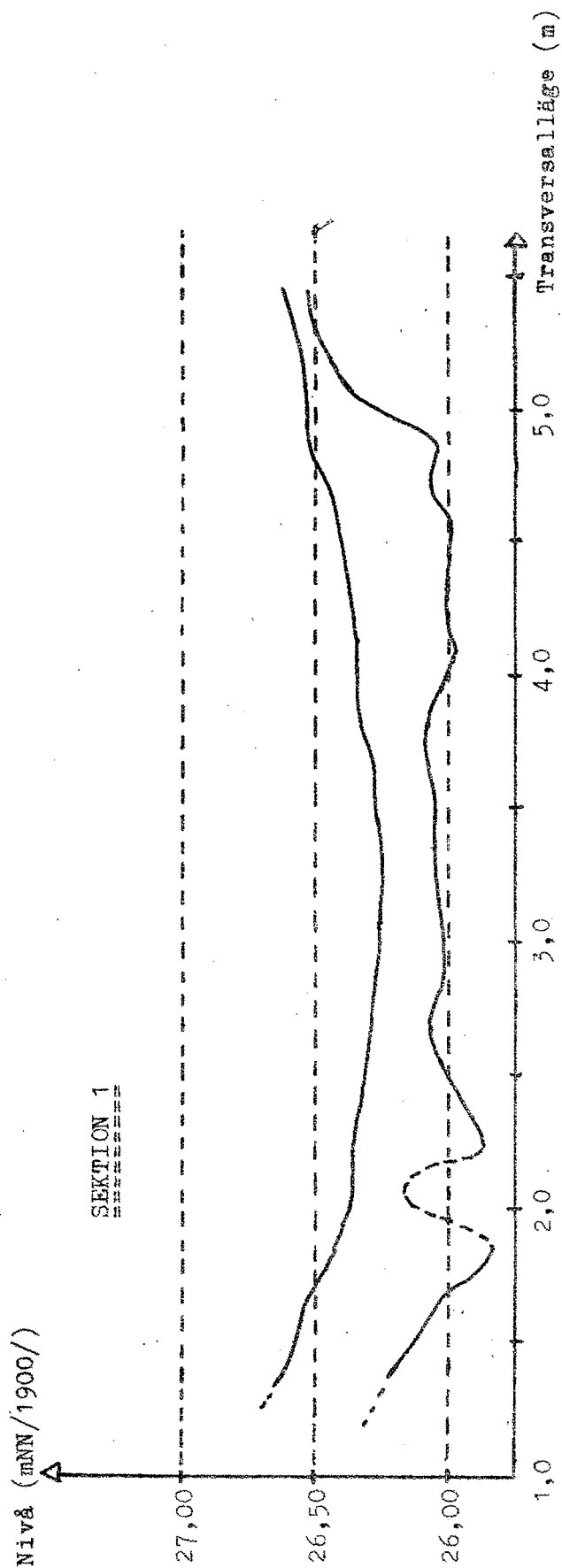
Översikt över avvägda tvärsektioner (1-10)  
samt föreslagna lägen för överfallsvärn (A-B)



1974-03-04 / A. Bjerketorp

Pierreslutan, Lövstabruk

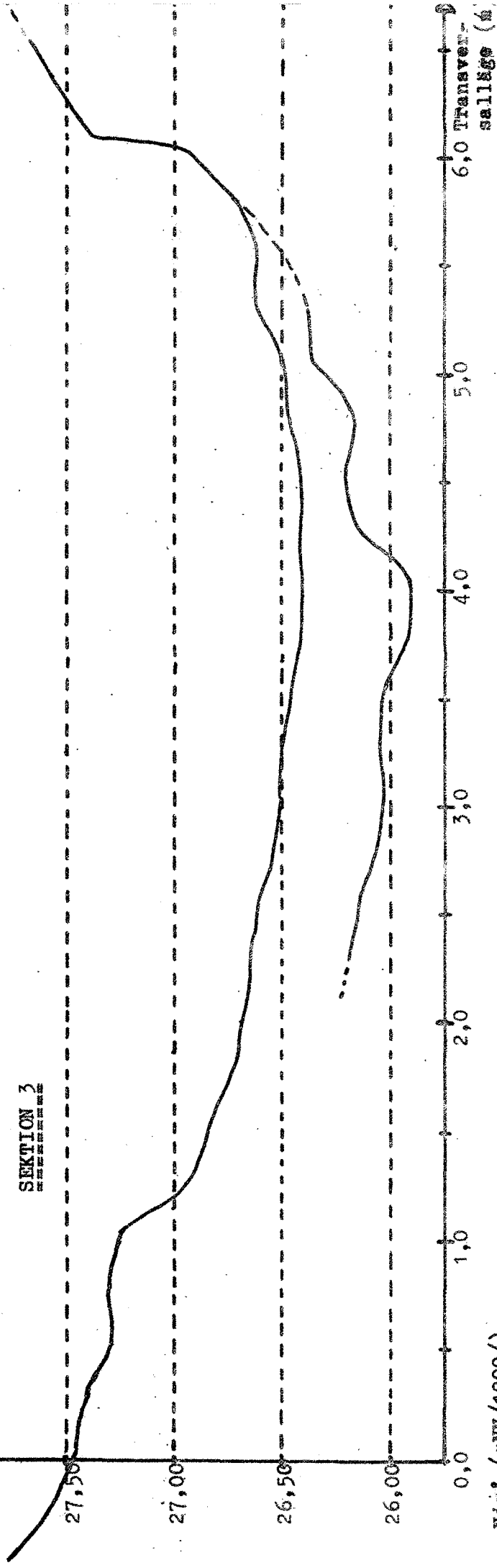
Tvärsektionerna 1-2, avvägda 1973-10-30 av A. Bjerketorp



Nivå (mNN/1900/)

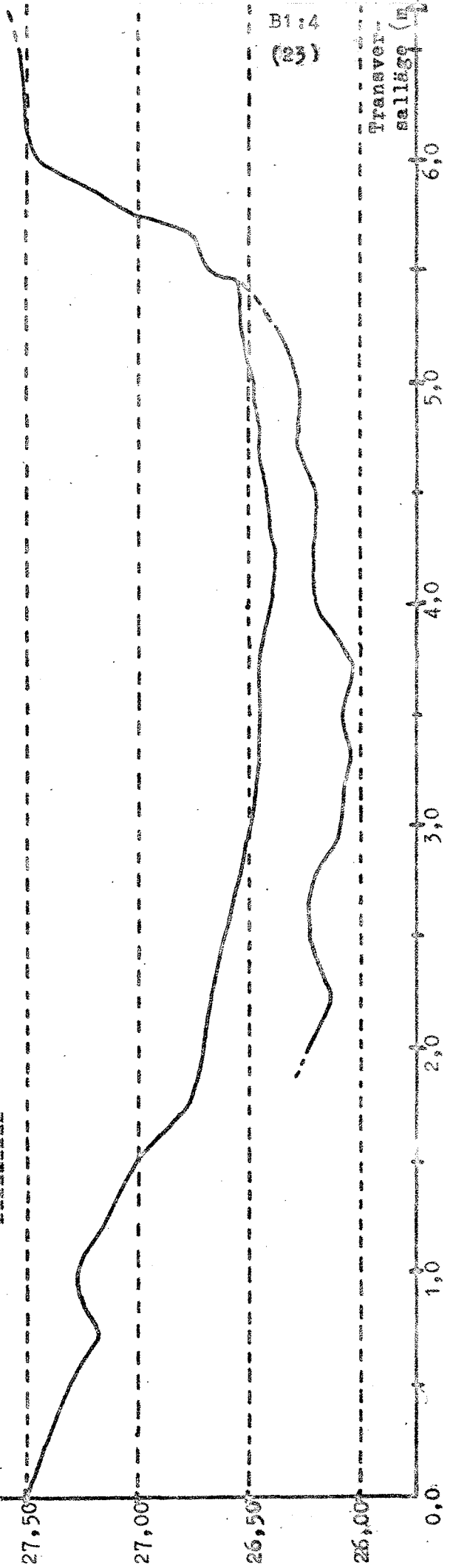
Pierreslutan, Lövestabruk: Tvärsektionerna 3-4, avvägda 1973-10-22 av A. Bjerketorp

SEKTION 3



Nivå (mNN/1900/)

SEKTION 4



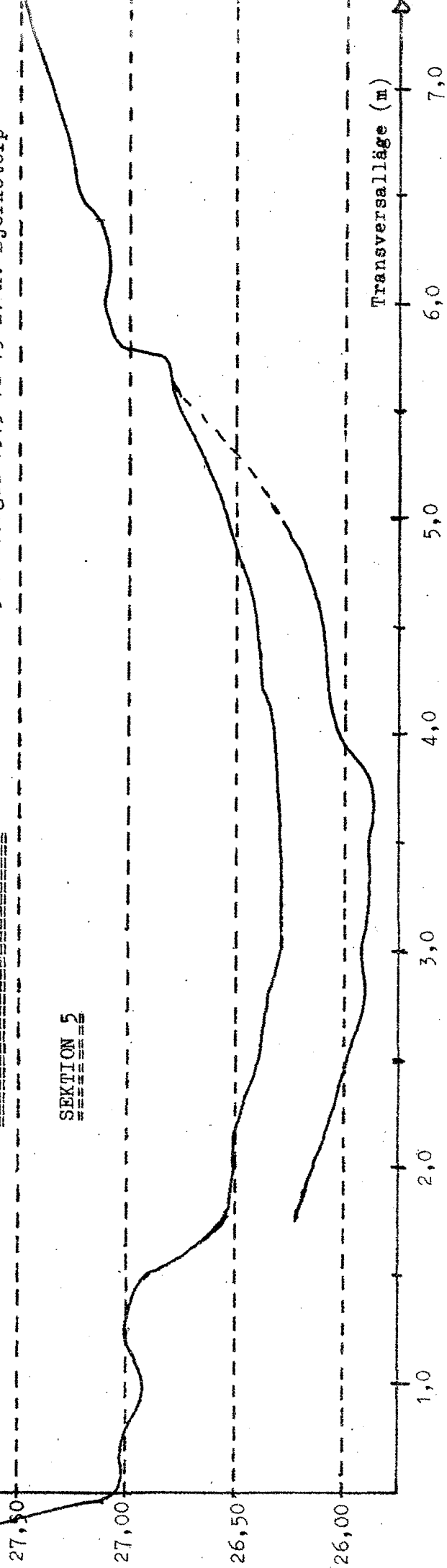
B1:4  
(23)



Nivå  $\Delta$  (mNN/1900//)

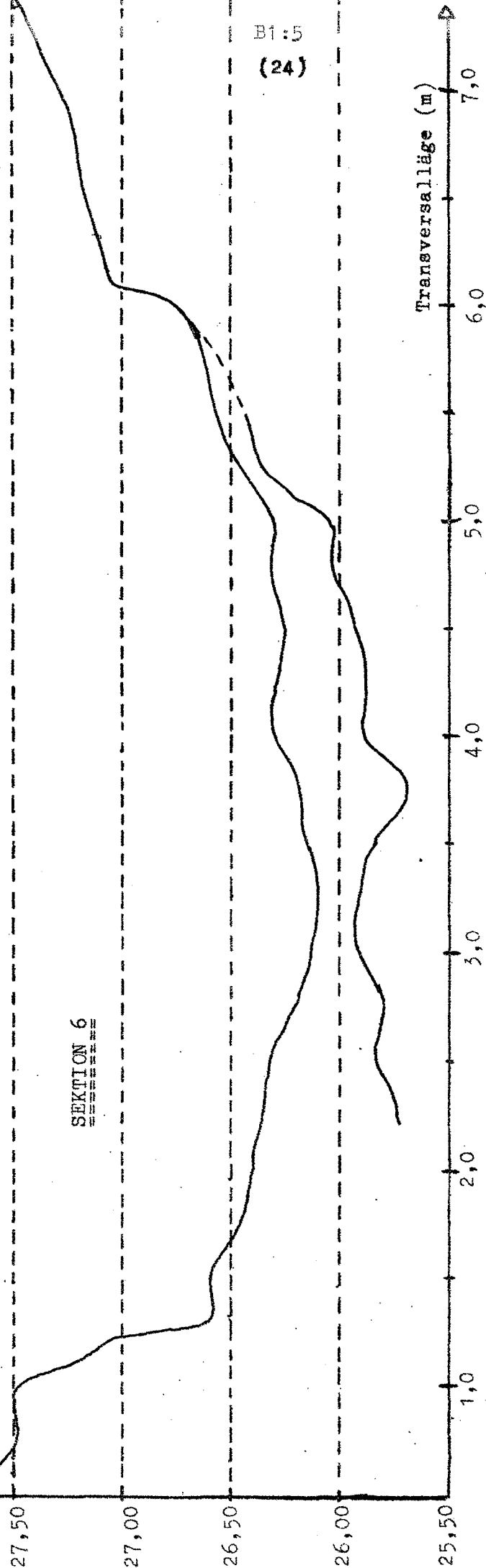
Pierreslutan, Löfstabruk: Tvärsektionerna 5-6 avvägda 1973-10-19 av A. Bjerketorp

SEKTION 5



Nivå  $\Delta$  (mNN/1900//)

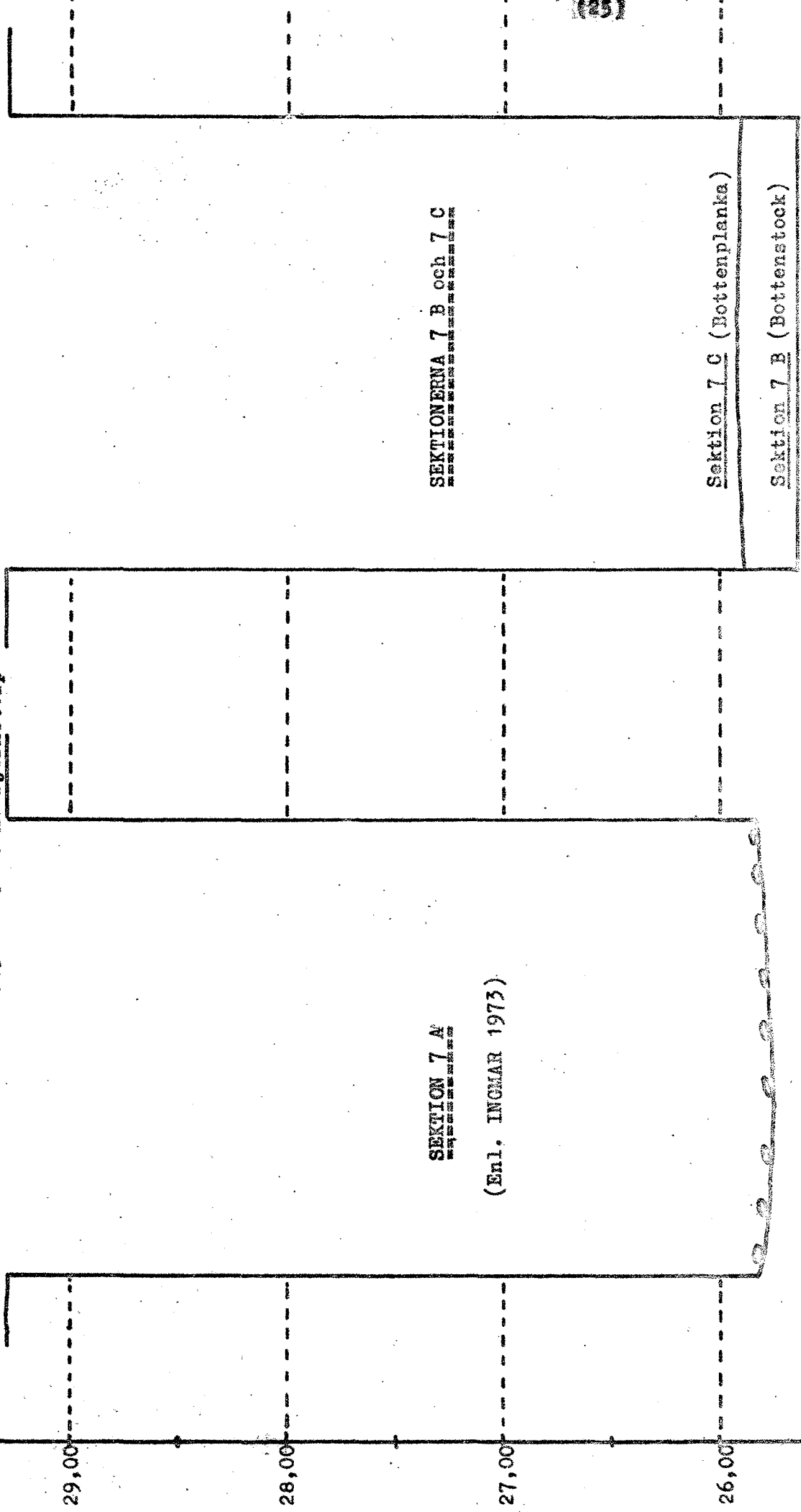
SEKTION 6



B1:5  
(24)

Nivå: A (MNH/1900/)

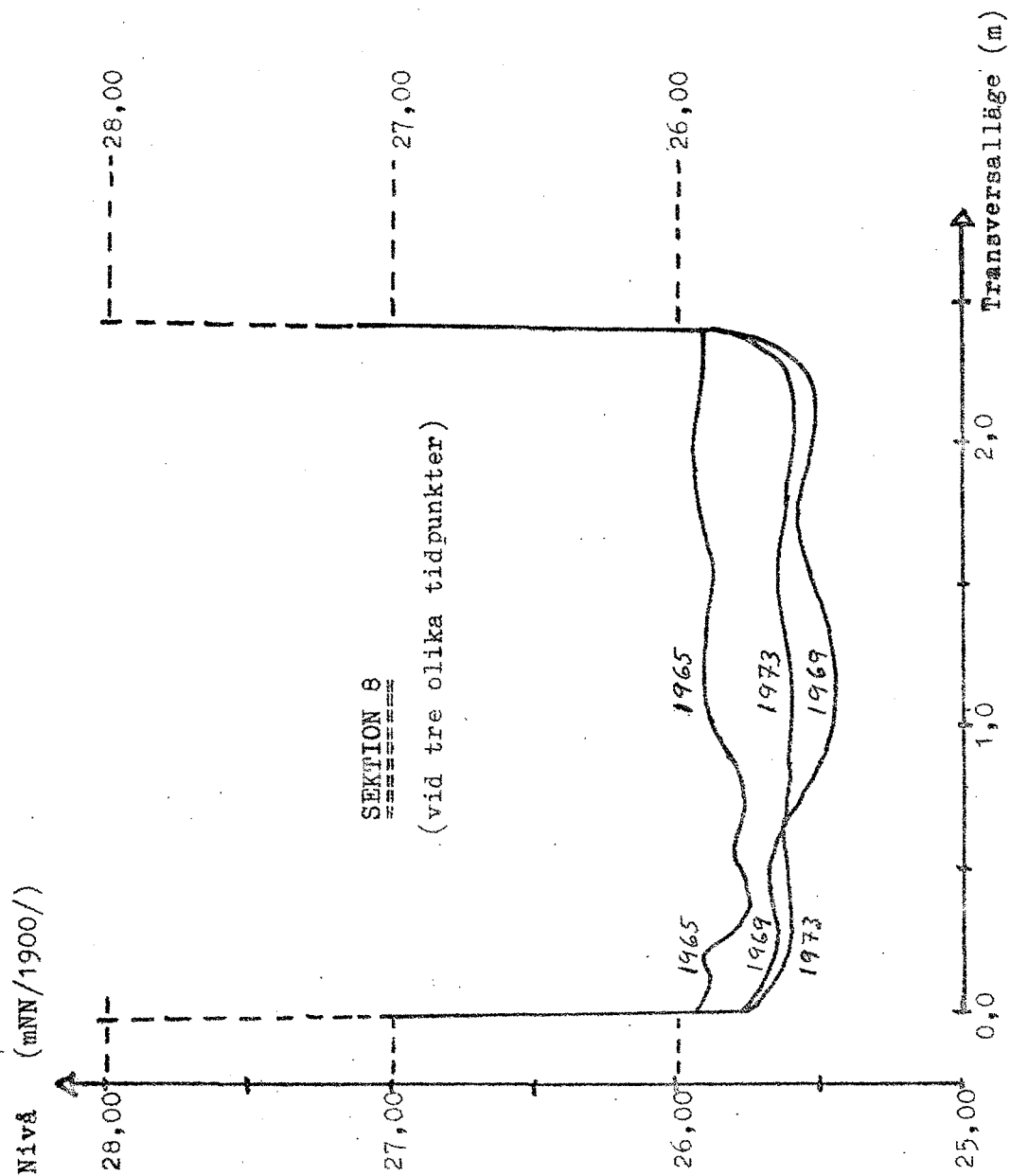
Pierreslutan, Lövestabruk: Tvärsektion 7a, avvägd av T. Ingmar, samt tvärsektionerna 7b-c, avvägda 1973-10-19 av A. Björketorp



B1:6

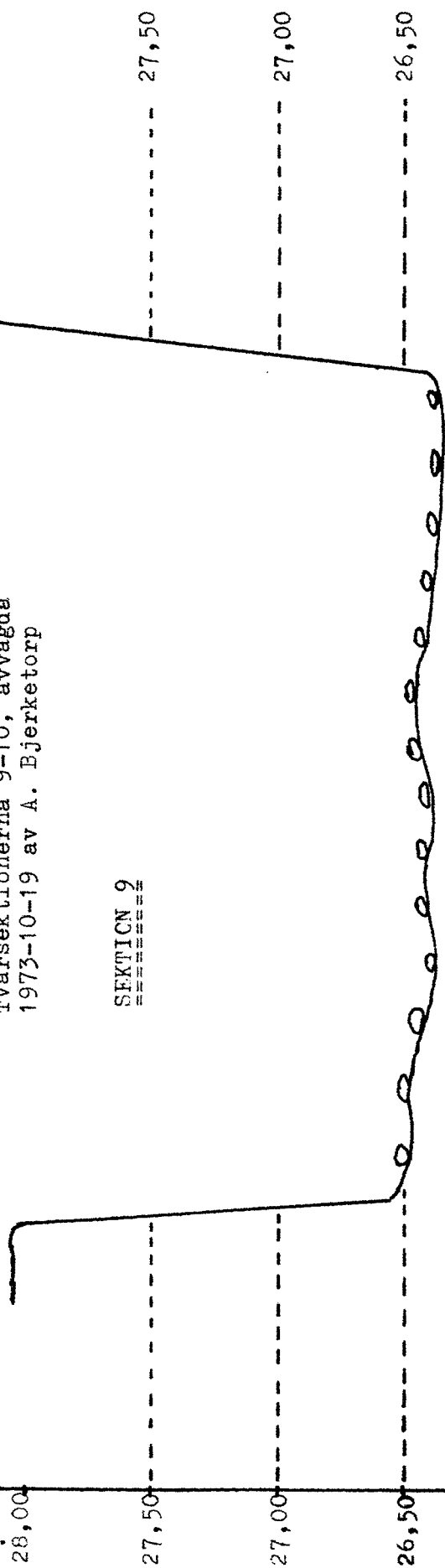
(25)

Pierreslutan, Lövestabruk: Tvärsektion 8, inmätt hösten 1965 och våren 1969 av A. Bjerketorp  
samt avvägd 1973-10-19 av A. Bjerketorp.



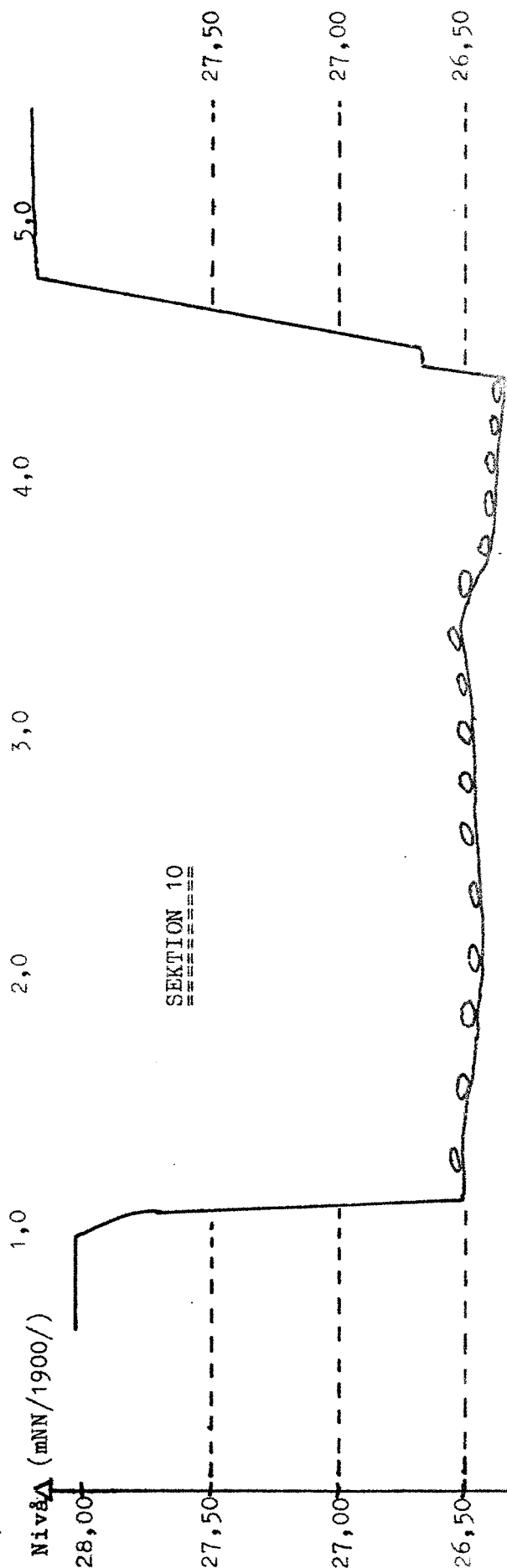
Pierreslutan, Lövstabruk:  
 Tvärsektionerna 9-10, avvägda  
 1973-10-19 av A. Bjerketorp

Nivå (mNN/1900/)

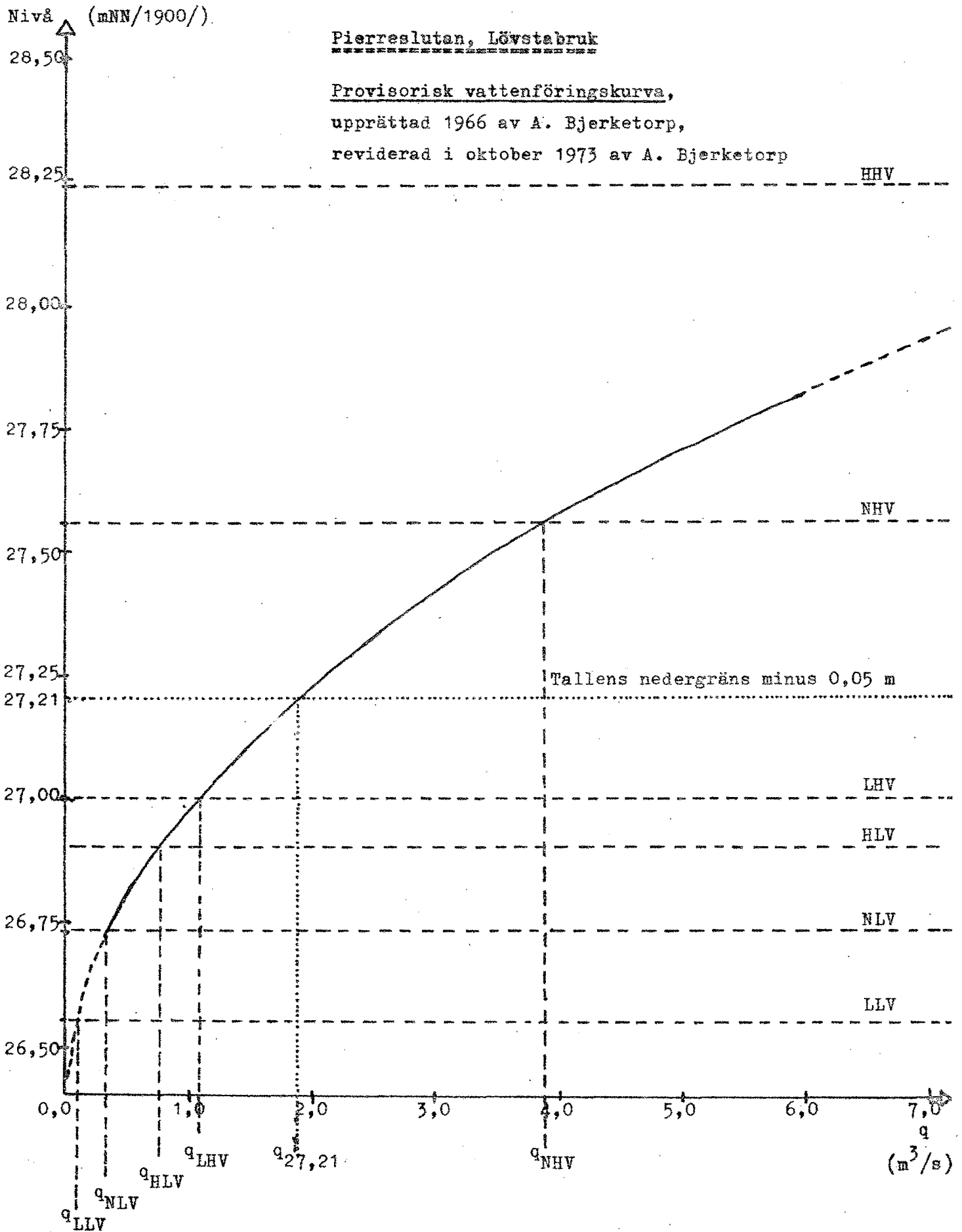


Transversalläge (m)

Nivå (mNN/1900/)



Transversalläge (m)



Bilaga 2

till

Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns  
vattensystem uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

Principerna för utformningen av överfallsvärnen

jämte sektionsritningar över värnen enligt alternativen D20-D29



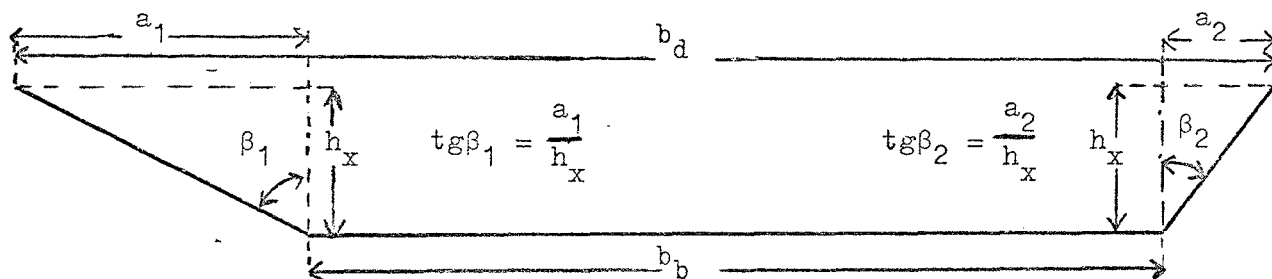
PRINCIPERNA FÖR UTFORMNINGEN AV ÖVERFALLSVÄRNEN ENLIGT ALTERNATIVEN D20-D31.

Lägen i planet (Jfr. bilaga 1, sid. B1:2):

Läge A: 3,0 á 3,5 m uppströms tvärsektion 1, och 12,0 á 14,0 m uppströms den befintliga dammportens (Slutans) uppströmssida.

Läge B: 0,0 á 0,3 m uppströms tvärsektion 4, och 3,2 á 4,6 m uppströms den befintliga dammportens (Slutans) uppströmssida.

Principskiss över överfallsvärnen sedda i strömmens riktning:



Flödesformlerna:

1. Den allmänna formeln

$$q = C_R \cdot b_b \cdot h_1^{1,5} + C_T \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \cdot h_1^{2,5}$$

$$C_R = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \mu_1 \quad \text{och} \quad C_T = \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \mu_2$$

$$h_1 = H - H_0 = \text{höjd över värnkanten (tröskeln; } H_0)$$

$g$  = tyngkraftsaccelerationen

$\mu_1$  = utströmningskoefficient för rektangulärt överfallsvärn

$\mu_2$  = utströmningskoefficient för triangulärt överfallsvärn

Den allmänna formeln är härledd enligt Polenis-DuBuats klassiska betraktelsesätt (1700-talet).

2. Formeln för  $0,07 \leq h_1 \leq 0,60$

$$\mu_1 = \mu' h_1^{0,02} \quad \text{och} \quad \mu_2 = \mu' h_1^{0,04}$$

$$\mu' = \frac{117}{40 \sqrt{2 \cdot g}} \approx 0,66$$

varav

$$q = 1,95 \cdot b_b \cdot h_1^{1,52} + 1,56 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \cdot h_1^{2,54}$$

Utströmningskoefficienternas beroende av höjden utvisar här tillströmningshastighetens ökade betydelse med stigande  $h_1$ .

3. Formeln för  $0,02 \leq h_1 \leq 0,07$

$$\mu_1 = \mu'(0,07)^{0,02} \approx 0,6261 \quad \text{och} \quad \mu_2 = \mu'(0,07)^{0,04} \cdot h_1^{-0,02} \approx 0,5937 \cdot h_1^{-0,02}$$

$$C_R = \frac{39}{20} (0,07)^{0,02} \approx 1,8490 \quad \text{och} \quad C_T = \frac{39}{25} (0,07)^{0,04} \cdot h_1^{-0,02} \approx 1,4026 \cdot h_1^{-0,02}$$

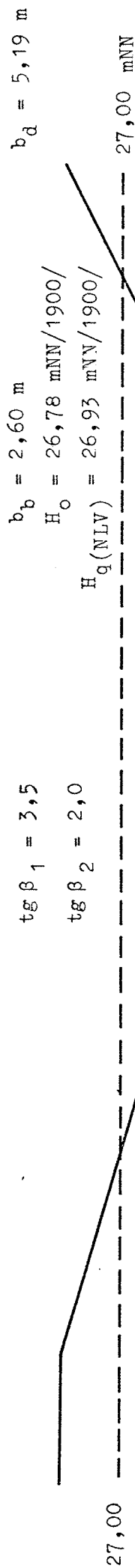
$$q = 1,8490 \cdot b_b \cdot h_1^{1,50} + 1,4026 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \cdot h_1^{2,48}$$

Vid mycket låga värden på  $h_1$  är utströmningskoefficienten för ett triangulärt överfallsvärn växande med minskande  $h_1$ .

Pierreslutan, Lövstabruk  
=====

Uppdämningsalternativ D20 och D21.

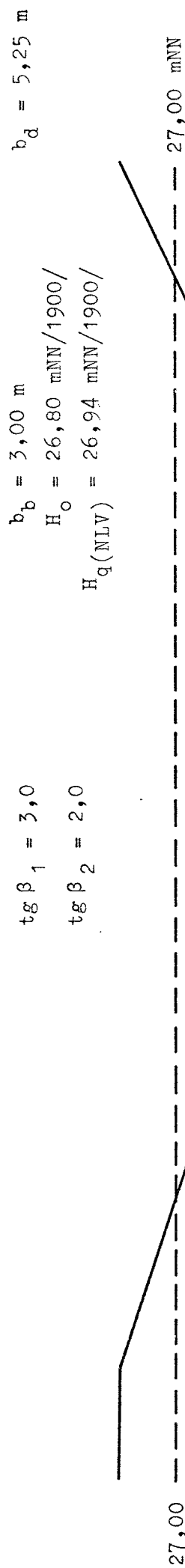
Alternativ D20 (Läge B):



$$q = 5,07 h_1^{1,52} + 4,29 h_1^{2,54} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

Alternativ D21 (Läge B):



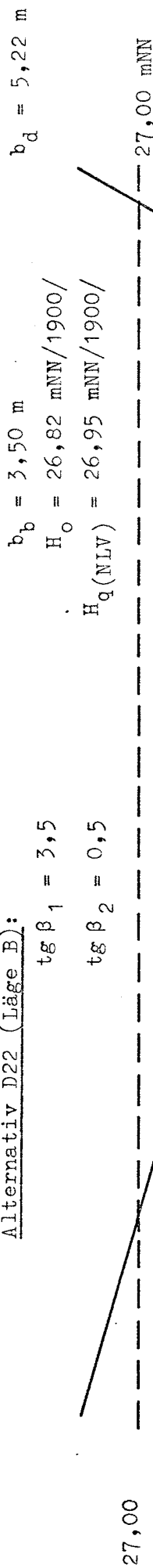
$$q = 5,85 h_1^{1,52} + 3,90 h_1^{2,54} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pierreslutan, Lövstabruk

Uppdämningsalternativ D22 och D23.

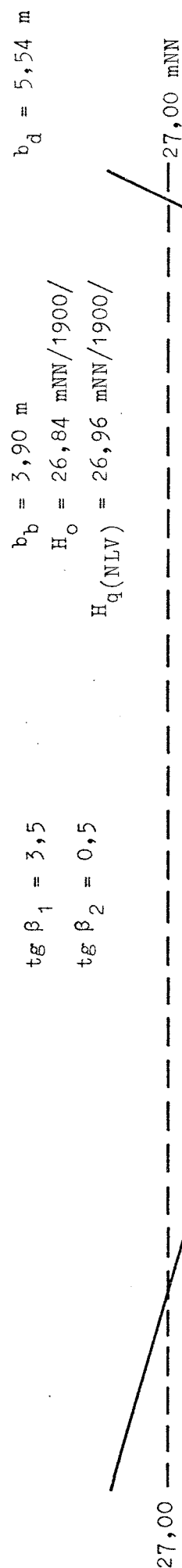
Alternativ D22 (Läge B):



$$q = 6,83 h_1^{1,52} + 3,12 h_1^{2,54} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

Alternativ D23 (Läge B):



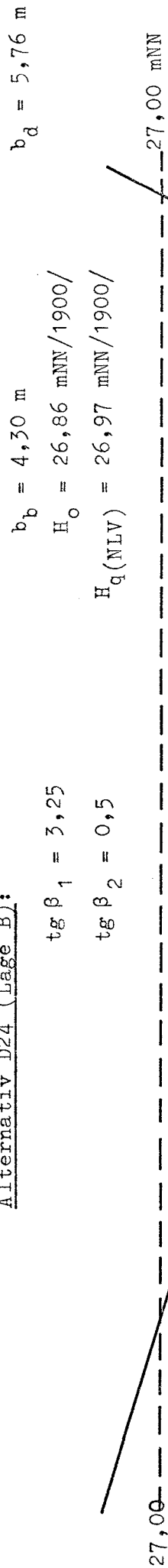
$$q = 7,61 h_1^{1,52} + 3,12 h_1^{2,54} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pierreslutan, Lövstabruk

Uppdämningsalternativ D24 och D25.

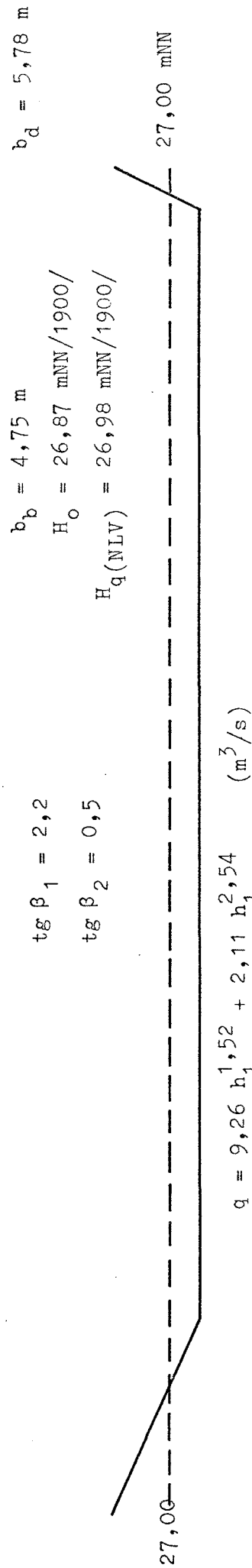
Alternativ D24 (Läge B):



$$q = 8,39 h_1^{1,52} + 2,93 h_1^{2,54} \quad (m^3/s)$$

$$q_{27,21} = 1,90 m^3/s$$

Alternativ D25 (Läge B):



$$q = 9,26 h_1^{1,52} + 2,11 h_1^{2,54} \quad (m^3/s)$$

$$q_{27,21} = 1,93 m^3/s$$

Pierreslutan, Lövstabruk

Uppdämningsalternativ D26 och D27.

Alternativ D26 (Läge A):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_1 &= 1,5 & b_b &= 5,25 \text{ m} & b_d &= 6,15 \text{ m} \\ \operatorname{tg} \beta_2 &= 1,0 & H_o &= 26,89 \text{ mNN}/1900/ \\ & & H_{q(NLV)} &= 26,99 \text{ mNN}/1900/ \end{aligned}$$

$$q = 10,24 h_1^{1,52} + 1,95 h_1^{2,54} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

Alternativ D27 (Läge A):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_1 &= \operatorname{tg} \beta_2 = 0,0 & b_b &= b_d = 6,20 \text{ m} \\ & & H_o &= 26,91 \text{ mNN}/1900/ \\ & & H_{q(NLV)} &= 27,00 \text{ mNN}/1900/ \end{aligned}$$

$$q = 12,09 h_1^{1,52} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pierreslutan, Lövstabruk

Uppdämningsalternativ D28 och D29

Alternativ D28 (Läge A):

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta_2 = 1,5$$

$$(b_b = 6,40 \text{ m})$$

$$H_o = 26,74 \text{ mNN}/1900/$$

$$H_q(\text{NLV}) = 27,01 \text{ mNN}/1900/$$

$$b_d = 7,33 \text{ m}$$

3,0

3,0

27,00

$$\leftarrow 0,2 \rightarrow$$

$$\leftarrow 0,4 \rightarrow$$

$$q = 11,70 (h_1 - 0,20)^{1,52} + 0,78 h_1^{1,52} + 2,34 (h_1 - 0,20)^{2,54} \quad / \text{m}^3/\text{s}/$$

$$q_{27,21} = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$$

Alternativ D29 (Läge A):

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta_2 = 0,0$$

$$b_b = b_d = 7,15 \text{ m}$$

$$H_o = 26,94 \text{ mNN}/1900/$$

$$H_q(\text{NLV}) = 27,02 \text{ mNN}/1900/$$

27,00

$$q = 13,94 h_1^{1,52} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$q_{27,21} = 1,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bilaga 3

till

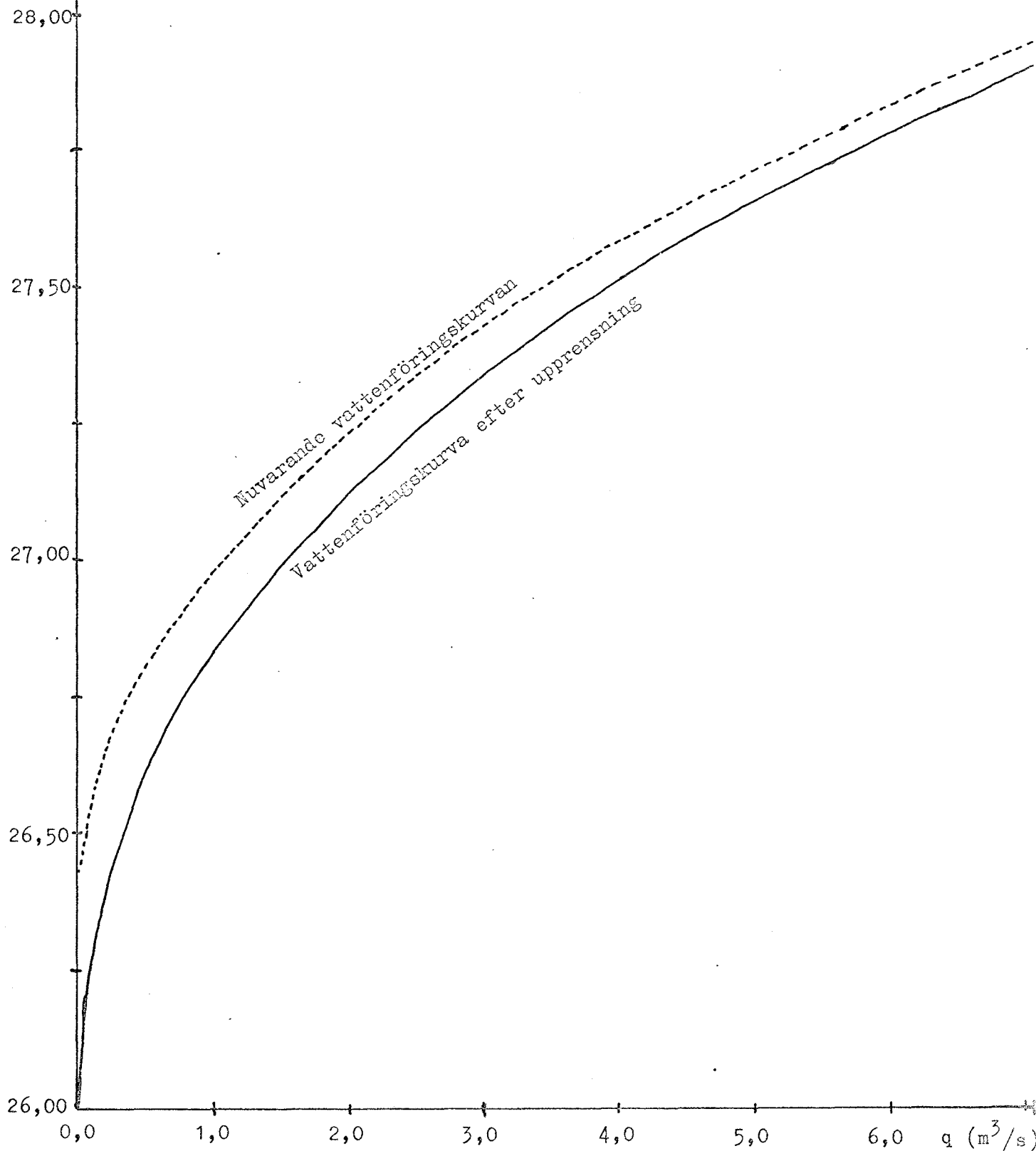
Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem  
uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

Nya vattenföringskurvor för Pierreslutan, Lövestabruk

Pierreslutan, Lövstabruk

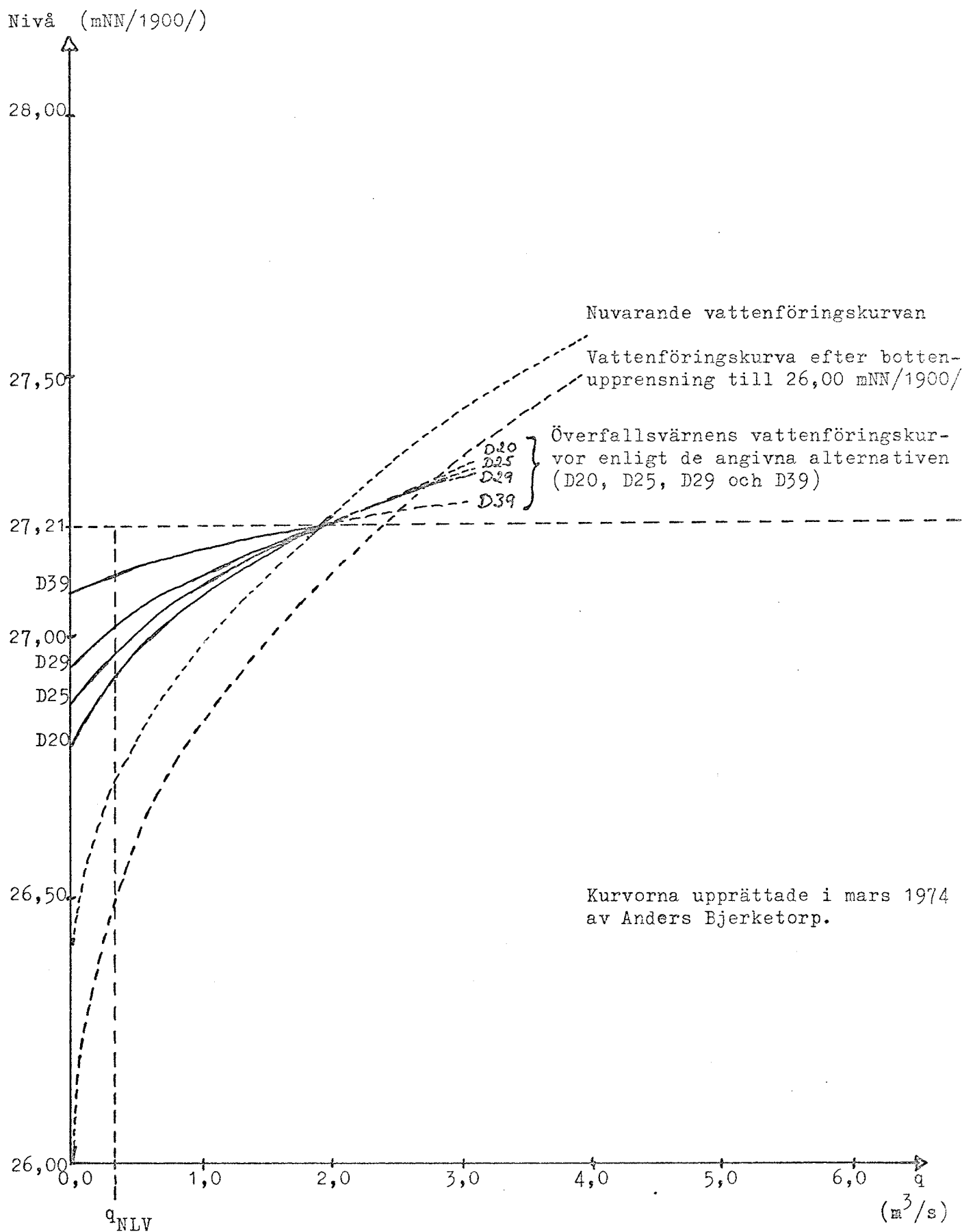
Nuvarande (1974) vattenföringskurva (avbördningskurva) och den vattenföringskurva som skulle förverkligas om åfåran upprensades före och efter Slutan ned till nivån 26,00 mNN/1900/ (och ingen fördämning insattes).





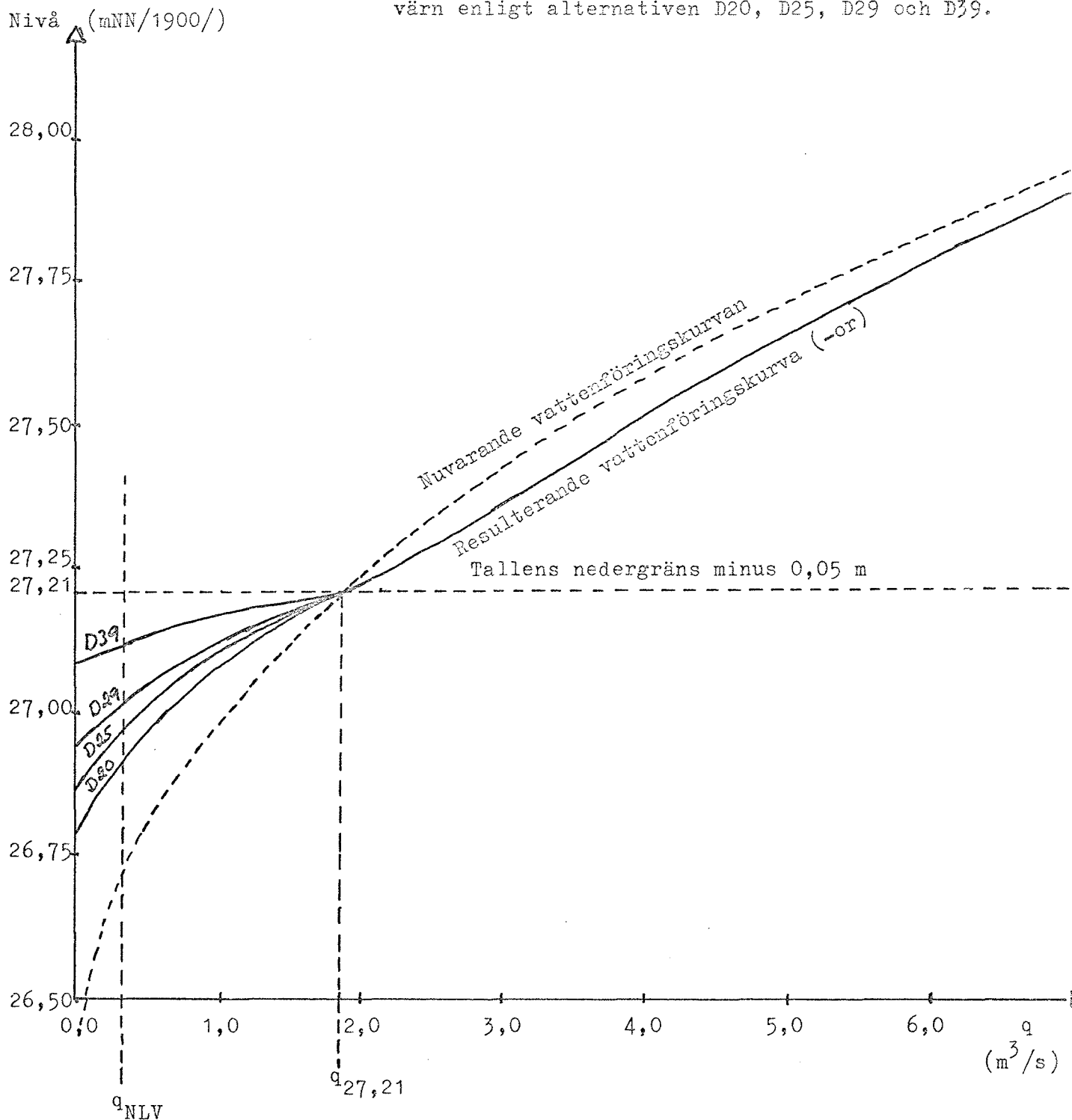
Pierreslutan, Lövestabruk

Införande av överfallsvärn.



Pierreslutan, Lövestabruk

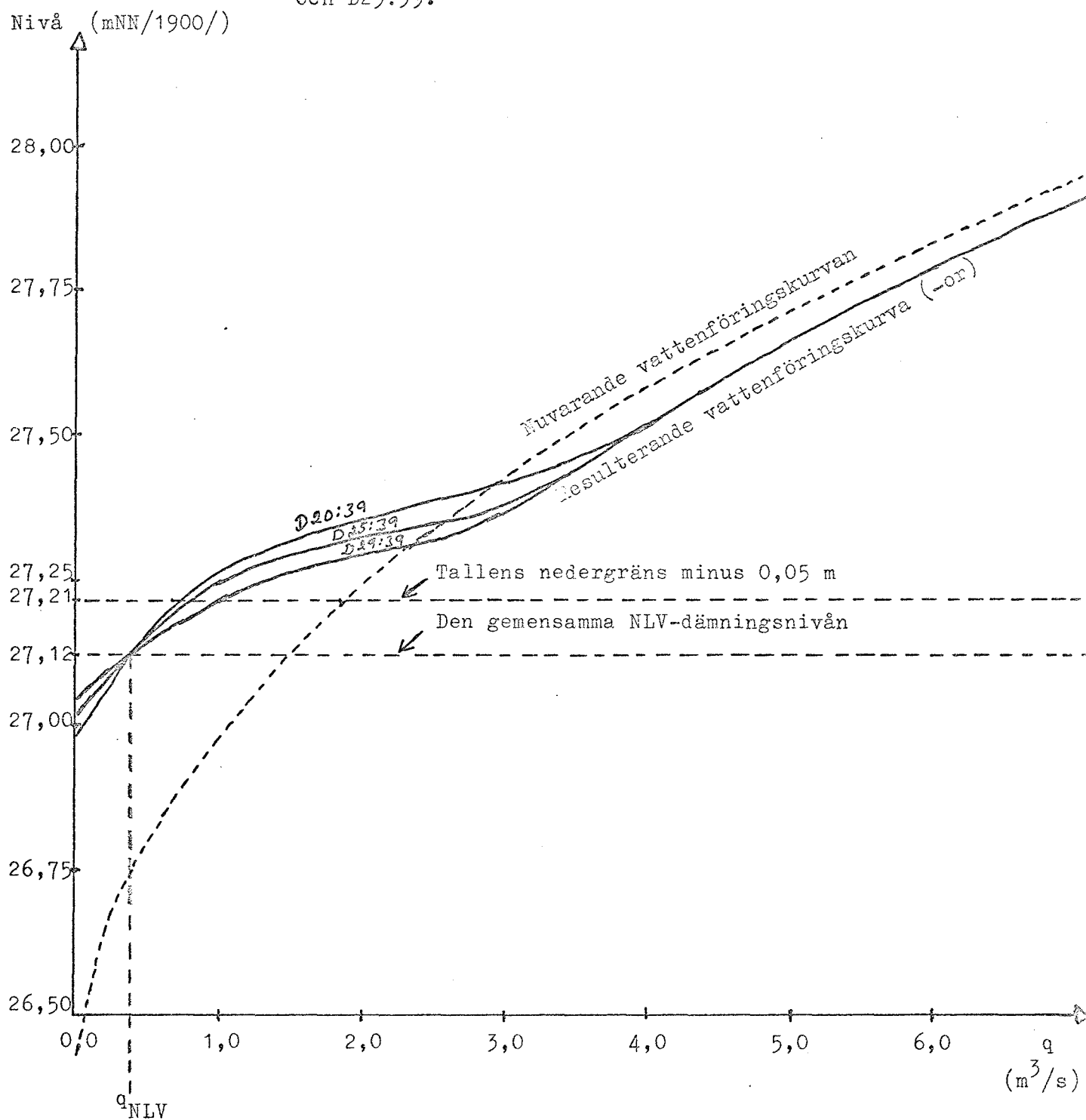
Nuvarande vattenföringskurva jämförd med de fyra resulterande kurvor (kurvgrenar) som uppkommer vid en kombination av upprepning av bottnen ned till nivån 26,00 mNN/1900/ och anläggning av överfalls-  
värn enligt alternativen D20, D25, D29 och D39.



Kurvorna upprättade i mars 1974 av Anders Bjerketorp.

Pierreslutan, Lövstabruk

Nuvarande vattenföringskurva jämförd med de tre resulterande kurvor (kurvgrenar) som uppkommer vid en kombination av upprensning av botten ned till nivån 26,00 mNN/1900/ och anläggning av överfallsvärn enligt alternativen D20:39, D25:39 och D29:39.



Kurvorna upprättade i mars 1974 av A. Bjerketorp.

Bilaga 4

till

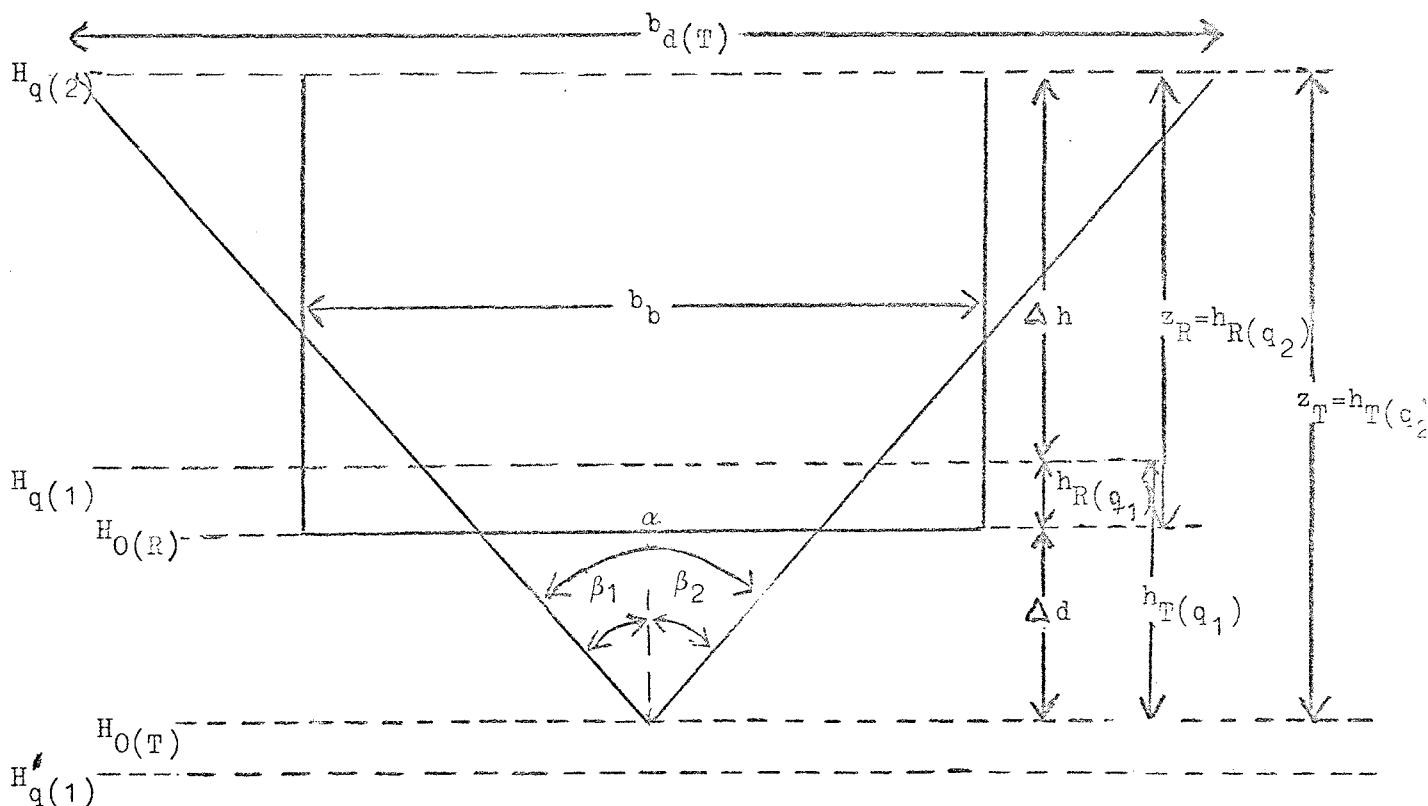
Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns  
vattensystem uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

Jämförelse av vattenföringseffektiviteten mellan ett rektangulärt  
och ett triangulärt överfallsvärn med samma differenser mellan de  
nivåer vid vilka två givna flödesvärden är förverkligade

JÄMFÖRELSE AV VATTENFÖRINGS-EFFEKTIVITETEN MELLAN ETT REKTANGULÄRT OCH  
ETT TRIANGULÄRT ÖVERFALLSVÄRN MED SAMMA DIFFERENS MELLAN DE NIVÅER VID  
VILKA TVÅ GIVNA FLÖDESVÄRDEN ÄR FÖRVERKLIGADE

# 1. PRINCIPSKISS ÖVER DE JÄMFÖRDA VÄRKEN



## 2. BETECKNINGAR

## 2.1. Beteckningar enligt principskissen

$H'_{q(1)}$  = den nivå i mNN som motsvarar genomsnittlig (normal) årlig  
lägstvattenföring före uppdämning

$$H_{o(T)} = H_q(2) - z_T = \text{tröskelhöjd i mNN för det triangulära överfallsvärnet}$$
$$H_{o(R)} = H_{q(2)} - z_R = \text{tröskelhöjd i mNN för det rektangulära överfallsvärnet}$$

$H_{q(1)}$  = den nivå i mNN som motsvarar genomsnittlig (normal) årlig  
lägstvattenföring efter uppdämning

H<sub>q</sub>(2) = gränsnivå för dämpningsverkans upphörande inom vatten-  
ståndsregistret

$$b_{d(T)} = 2 \cdot h_{T(q_2)} \cdot \xi = \det \text{ triangulära överfallssvärnets bredd} \\ \text{vid } H_{q(2)} \quad (\text{Om } \xi \text{ se nedan})$$

- $b_b$  = det rektangulära överfallsvärnets bredd  
 $\alpha$  =  $\beta_1 + \beta_2$  = triangelvärnets öppningsvinkel.  $\beta_1$  och  $\beta_2$  är värnsidornas vinklar mot vertikalen  
 $\Delta h$  =  $H_{q(2)} - H_{q(1)}$  = det konstanta avståndet mellan nivåerna för förverkligande av flödena  $q_2$  resp.  $q_1$ , antingen genom ett rektangulärt eller genom ett triangulärt överfallsvärn  
 $z_R$  =  $H_{q(2)} - H_o(R)$  = avståndet från  $H_{q(2)}$  till det rektangulära överfallsvärnets underkant; numeriskt lika med  $h_{R(q_2)}$  (Se nedan)  
 $z_T$  =  $H_{q(2)} - H_o(T)$  = avståndet från  $H_{q(2)}$  till det triangulära överfallsvärnets spets; numeriskt lika med  $h_{T(q_2)}$  (Se nedan)  
 $h_{R(q_1)}$  = vattennivåns vid  $q = q_1$  höjd över det rektangulära värnets underkant; numeriskt lika med  $z_R - \Delta h$   
 $h_{T(q_1)}$  = vattennivåns vid  $q = q_1$  höjd över det triangulära värnets spets; numeriskt lika med  $z_T - \Delta h$   
 $h_{R(q_2)}$  = vattennivåns vid  $q = q_2$  höjd över det rektangulära värnets underkant; numeriskt lika med  $z_R$  (Se ovan)  
 $h_{T(q_2)}$  =  $h_{R(q_2)} + \Delta d$  = vattennivåns vid  $q = q_2$  höjd över det triangulära värnets spets; numeriskt lika med  $z_T$  (Se ovan)  
 $\Delta d$  =  $h_{T(q_1)} - h_{R(q_1)} = h_{T(q_2)} - h_{R(q_2)} = H_o(R) - H_o(T) = z_T - z_R$   
 = avståndet mellan det rektangulära värnets underkant och det triangulära värnets spets.

## 2.2. Övriga beteckningar

- $q'_1$  =  $q'_1(NLV)$  = flödet vid normalt årligt lägstvattenstånd (NLV) före dämning  
 $q_1$  =  $q(NLV) = q'_1 - \epsilon$  = flödet vid normalt årligt lägstvattenstånd efter dämning.  $\epsilon$  betecknar den minskning av vattenföringen vid NLV som föranledes av dämningen  
 $q_2$  = flödet vid den gränsnivå,  $H_{q(2)}$  (se ovan), där dämningseffekten upphör inom vattenståndsregistret  
 $\xi$  = det gränsvärde för  $\tan \frac{\alpha}{2} = \tan \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$  vid vilket det triangulära värnets har samma effektivitet som det rektangulära  
 $q_{R(i)}$  = flödet från det rektangulära värnets vid höjden  $h_{R(i)}$  över värnkrönet

$q_{T(i)}$  = flödet från det triangulära värnets vid höjden  $h_{T(i)}$  över värnspetsen

$M_R$  = utströmningsskoefficient gällande för det rektangulära värnets

$M_T$  = utströmningsskoefficient gällande för det triangulära värnets

$g$  = tyngdkraftsaccelerationen

$$C'_R = 2/3 \cdot \sqrt{2g} \approx 2,952965$$

$$C'_T = 8/15 \cdot \sqrt{2g} \approx 2,362372$$

$$C_R = C'_R \cdot M_R = 2/3 \sqrt{2g} M_R \approx 2,952965 \cdot M_R$$

$$C_T = C'_T \cdot M_T = 8/15 \sqrt{2g} M_T \approx 2,362372 \cdot M_T$$

$$h_D = H_{q(2)} - H'_{q(1)} - \Delta h = \text{uppdämning vid flödet } q = q_1 = q_{(NLV)}$$

### 3. PROBLEMSTÄLLNING

Villkoret för att ett rektangulärt och ett triangulärt överfallsvärn skall ha samma differens mellan de nivåer vid vilka två givna vattenföringsvärden ( $q_1$  och  $q_2$ ) är förverkligade, kan symboliskt uttryckas:

$$h_{R(q_2)} - h_{R(q_1)} = h_{T(q_2)} - h_{T(q_1)} = \Delta h = \text{konst.} \quad (1)$$

Problemställningen är att för det första ange villkoret för att ett triangulärt överfallsvärn skall vara lika effektivt som ett rektangulärt, när det gäller att minimera  $\Delta h$ , samt att för det andra formulera förutsättningarna för att det triangulära värnets skall vara mindre eller mera effektivt i nämnda hänseende än det rektangulära värnets.

### 4. LÖSNING

#### 4.1. Lika effektivt

Givet: Ett rektangulärt överfallsvärn med bredden  $b_p$  och

$$h_{R(q_2)} - h_{R(q_1)} = \Delta h$$

Sökt: Ett triangulärt överfallsvärn med samma  $\Delta h$  vid samma  $q_2$  och  $q_1$ , dvs.

$$h_{T(q_2)} - h_{T(q_1)} = \Delta h$$

Förutsättningar: Flödesintegralerna för de båda värntyperna anses kunna uppställas och lösas enligt Poleni-Du Buats klassiska betraktelsesätt utan beaktande av tillströmningshastigheten

Dessutom anses att integralerna och dessas lösning är bekanta. Vi kan då skriva

$$q_R = 2/3 M_R \cdot \sqrt{2g} \cdot b_b \cdot h_R^{1,5} = C_R' \cdot M_R \cdot b_b \cdot h_R^{1,5} = C_R \cdot b_b \cdot h_R^{1,5} \quad (2)$$

och

$$q_T = 8/15 \cdot M_T \cdot \sqrt{2g} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h_T^{2,5} = C_T' \cdot M_T \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h_T^{2,5} = C_T \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h_T^{2,5} \quad (3)$$

#### Egentlig lösning

Enligt problemställningen gäller

$$q_R(2) = q_T(2) = q_2 = C_R \cdot b_b \cdot h_R^{1,5}(q_2) = C_T \cdot \xi \cdot h_T^{2,5}(q_2) \quad (4a)$$

$$q_R(1) = q_T(1) = q_1 = C_R \cdot b_b \cdot h_R^{1,5}(q_1) = C_T \cdot \xi \cdot h_T^{2,5}(q_1) \quad (4b)$$

Vi erinrar oss också att

$$h_R(q_2) - h_R(q_1) = h_T(q_2) - h_T(q_1) \quad (1)$$

Av (4a), (4b) och (1) följer att

$$\left(\frac{q_2}{C_R \cdot b_b}\right)^{2/3} - \left(\frac{q_1}{C_R \cdot b_b}\right)^{2/3} = \left(\frac{q_2}{C_T \cdot \xi}\right)^{2/5} - \left(\frac{q_1}{C_T \cdot \xi}\right)^{2/5} \quad (5a)$$

eller

$$b_b^{-2/3} \left( \left(\frac{q_2}{C_R}\right)^{2/3} - \left(\frac{q_1}{C_R}\right)^{2/3} \right) = \xi^{-2/5} \left( \left(\frac{q_2}{C_T}\right)^{2/5} - \left(\frac{q_1}{C_T}\right)^{2/5} \right) \quad (5a')$$

Vi sätter nu

$$\left(\frac{q_2}{C_R}\right)^{2/3} - \left(\frac{q_1}{C_R}\right)^{2/3} = p_1 \quad \text{och}$$

$$\left(\frac{q_2}{C_T}\right)^{2/5} - \left(\frac{q_1}{C_T}\right)^{2/5} = p_2$$

Ekvation (5a') kan nu överföras till



$$p_1 \cdot b_b^{-2/3} = p_2 \cdot \xi^{-2/5} \quad \text{dvs.}$$

$$\xi = \left( \frac{p_2}{p_1} \cdot b_b^{2/3} \right)^{5/2} = (p_2/p_1)^{5/2} \cdot b_b^{5/3} \quad (5b')$$

Sättes  $(p_2/p_1)^{5/2} = C_p$  erhålles

$$\xi = C_p \cdot b_b^{5/3} \quad (5b'')$$

Insättes uttrycken för  $p_1$  och  $p_2$  i ekvation (5b') erhålles

$$\xi = \left( \frac{\left( \frac{q_2}{C_T} \right)^{2/5} - \left( \frac{q_1}{C_T} \right)^{2/5}}{\left( \frac{q_2}{C_R} \right)^{2/3} - \left( \frac{q_1}{C_R} \right)^{2/3}} \right)^{5/2} \cdot b_b^{5/3}$$

eller

$$\xi = \frac{C_R^{5/3} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{C_T (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{5/2}} \cdot b_b^{5/3} \quad (5b''')$$

Insättes så uttrycken för  $C_R$  och  $C_T$  i ekvation (5b''') fås

$$\xi = \frac{(2/3 \cdot \sqrt{2g} \cdot M_R)^{5/3} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{8/15 \cdot \sqrt{2g} \cdot M_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{5/2}} \cdot b_b^{5/3}$$

eller

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{15(2/3 M_R)^{5/3} \cdot (2g)^{1/3} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{8 \cdot M_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{5/2}} \cdot b_b^{5/3} \approx \\ &\approx \frac{2,573 \cdot M_R^{5/3} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{M_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{5/2}} \cdot b_b^{5/3} \end{aligned} \quad (5b)$$

Det triangulära värnets kritiska öppningsvinkel definieras som

$$\alpha = \beta_1 + \beta_2 = 2 \cdot \arctg \xi \quad (6)$$

Svar\_(till\_4.1): Det sökta triangulära överfallsvärnets (kritiska) öppningsvinkel definieras av ovanstående ekvationer (6) och (5b).

#### 4.2. Mindre resp. mera effektivt

Om  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} < \xi$  eller  $\alpha < 2 \cdot \operatorname{arctg} \xi$ , så är det triangulära överfalls-  
värnet mindre effektivt när det gäller att minimera  $\Delta h$ , än vad det  
rektangulära värdet är. Om däremot  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} > \xi$  eller  $\alpha > 2 \cdot \operatorname{arctg} \xi$ ,  
så är det triangulära värdet effektivare än det rektangulära.

### 5. FASTSTÄLLANDE AV $b_b$ FÖR ETT REKTANGULÄRT VÄRN OCH $\xi$ FÖR ETT TRI- ANGULÄRT VÄRN VID EN VISS ÖNSKAD UPPDÄMNING, $h_D$ , VID FLÖDET $q_1$

#### 5.1. Inledning

Uppdämningen vid vattenföringen  $q = q_1$  definieras av följande, tidi-  
gare anförda (avdelning 2.2), uttryck

$$h_D = H_{q(2)} - H_{q(1)} - \Delta h$$

varur  $\Delta h$  kan utlösas

$$\Delta h = H_{q(2)} - H_{q(1)} - h_D \quad (7)$$

Åsättes  $h_D$  det önskade värdet, är högra ledets alla termer bekanta  
och därmed är också  $\Delta h$  bekant. Från detta förhållande utgår det  
fortsatta resonemanget.

#### 5.2. Fastställande av $b_b$

Om vänstra ledet i ekvation (5a) sättes lika med  $\Delta h$ , erhålles ef-  
ter viss omskrivning det för beräkning av  $\Delta h$  vid bekant  $b_b$  an-  
vändbara uttrycket

$$\Delta h = (C_R \cdot b_b)^{-2/3} \cdot (q_2^{-2/3} - q_1^{2/3}) \quad (8)$$

Om  $b_b$  löses ut från (8) fås

$$b_b = \frac{(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}}{C_R \cdot \Delta h^{3/2}} \quad (9')$$

eller

$$b_b = \frac{3(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}}{2 \cdot \sqrt{2g} M_R \cdot \Delta h^{3/2}} \approx \frac{0,33864(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}}{M_R \cdot \Delta h^{3/2}} \quad (9)$$

5.3. Fastställande av  $\xi$ 

Om högra ledet i ekvation (5a) sättes lika med  $\Delta h$  erhålles efter viss omformning

$$\Delta h = (C_T \cdot \xi)^{-2/5} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5}) \quad (10)$$

Löses så  $\xi$  ut från (10) fås

$$\xi = \frac{(q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{C_T \cdot \Delta h^{5/2}} \quad (11')$$

eller

$$\xi = \frac{15(q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{8 \cdot \sqrt{2g} \cdot M_T \cdot \Delta h^{5/2}} \approx \frac{0,42330(q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{M_T \cdot \Delta h^{5/2}} \quad (11)$$

6. FASTSTÄLLANDE AV  $b_d(T)$  UTTRYCKT I  $b_b$  OCH  $\Delta d$  UTTRYCKT I  $\Delta h$ 6.1.  $b_d(T)$  uttryckt i  $b_b$ 

$b_d(T)$  är det triangulära värnets bredd på nivån  $H_{q(2)}$ .

För kvoten  $b_d(T)/b_b$  gäller

$$\frac{b_d(T)}{b_b} = \frac{2 \cdot \xi \cdot h_T(q_2)}{b_b} \quad (12a')$$

Men eftersom

$$h_T(q_2) = \left( \frac{q_2}{C_T \cdot \xi} \right)^{2/5}$$

kan (12a') omformas till

$$\frac{b_d(T)}{b_b} = \frac{2 \cdot \xi}{b_b} \left( \frac{q_2}{C_T \cdot \xi} \right)^{2/5} = \frac{2 \cdot \xi^{3/5} \cdot q_2^{2/5}}{b_b \cdot C_T^{2/5}} \quad (12a'')$$

Härefter substitueras i högra ledet  $\xi$  resp.  $b_b$  med högra leden av ekvationerna (11') resp. (9'), och efter viss förenkling erhålles

$$\frac{b_{d(T)}}{b_b} = \frac{2 \cdot C_R \cdot q_2^{2/5} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{3/2}}{C_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}} \quad (12a'')$$

I denna ekvation kan  $C_R/C_T$  utbytas mot  $1,25 M_R/M_T$  eftersom

$$\frac{C_R}{C_T} = \frac{C_R^* M_R}{C_T^* M_T} = \frac{2/3 \cdot \sqrt{2g} \cdot M_R}{8/15 \cdot \sqrt{2g} \cdot M_T} = \frac{5 M_R}{4 M_T}$$

varefter vi erhåller

$$\frac{b_{d(T)}}{b_b} = \frac{2,5 M_R \cdot q_2^{2/5} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{3/2}}{M_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}} \quad (12a)$$

Ekvation (12a) kan så slutligen omskrivas till

$$b_{d(T)} = \frac{2,5 M_R \cdot q_2^{2/5} \cdot (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{3/2}}{M_T \cdot (q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}} \cdot b_b \quad (12)$$

## 6.2. $\Delta d$ uttryckt i $\Delta h$

För kvoten  $\Delta d / \Delta h$  gäller

$$\frac{\Delta d}{\Delta h} = \frac{h_T(q_2) - h_R(q_2)}{\Delta h} \quad (13a')$$

men eftersom

$$h_T(q_2) = \left( \frac{q_2}{C_T \xi} \right)^{2/5} \quad \text{och}$$

$$h_R(q_2) = \left( \frac{q_2}{C_R \cdot b_b} \right)^{2/3}$$

kan (13a') omformas till

$$\frac{\Delta d}{\Delta h} = \frac{\left( \frac{q_2}{C_T \xi} \right)^{2/5} - \left( \frac{q_2}{C_R \cdot b_b} \right)^{2/3}}{\Delta h} \quad (13a'')$$

$\xi$  resp.  $b_b$  substitueras med högra leden av ekvationerna (11') resp (9'), och efter förenkling erhålles

$$\frac{\Delta d}{\Delta h} = \frac{q_2^{2/5}}{q_2^{2/5} - q_1^{2/5}} - \frac{q_2^{2/3}}{q_2^{2/3} - q_1^{2/3}} \quad (13a)$$

Ekvation (13a) kan så slutligen omskrivas till

$$\Delta d = \left( \frac{q_2^{2/5}}{q_2^{2/5} - q_1^{2/5}} - \frac{q_2^{2/3}}{q_2^{2/3} - q_1^{2/3}} \right) \cdot \Delta h \quad (13)$$

## 7. PRAKTISK TILLÄMPNING

### 7.1. Inledning

Vid de praktiska tillämpningsberäkningar som här följer, kommer nedanstående siffervärden att användas.

$$\begin{aligned} M_R &= 0,65 \\ M_T &= 0,60 \\ q_2 &= 1,92 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \\ q_1 &= 0,30 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \\ g &= 9,81 \quad (\text{m}/\text{s}^2) \\ H_{q(2)} &= 27,21 \quad (\text{mNN}/1900/) \\ H_{q(NLV)}^f &= 26,73 \quad (\text{mNN}/1900/) \end{aligned}$$

De givna värdena för  $M_R$  och  $M_T$  är högst ungefärliga. Utströmningskoefficienterna varierar i verkligheten med värbassängens beskaffenhet, värnens fyllnadshöjd m.m.

### 7.2. Beräkning av $\xi$ vid känd $b_b$

Insättes de i avd. 7.1. givna siffervärdena för  $M_R$ ,  $M_T$  och  $g$  i ekvation (5b) erhålles följande approximativa uttryck

$$\xi \approx \frac{2,09(q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{5/2}} \cdot b_b^{5/3} \quad (5p')$$

Om värdena för  $q_2$  och  $q_1$  insättes, erhålles

$$\xi \simeq 0,634 \cdot b_b^{5/3} \quad (5p)$$

### 7.3. Beräkning av $b_b$ vid känt $\Delta h$

Insättes  $M_R = 0,65$  i ekvation (10) erhålles

$$b_b \simeq \frac{0,52(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}}{\Delta h^{3/2}} \quad (9p')$$

Insättes så  $q_2 = 1,92$  och  $q_1 = 0,30$ , fås

$$b_b \simeq \frac{0,597}{\Delta h^{3/2}} \quad (9p)$$

### 7.4. Beräkning av $\xi$ vid känt $\Delta h$

$M_T = 0,6$  i ekvation (11) ger

$$\xi \simeq \frac{0,706(q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{5/2}}{\Delta h^{5/2}} \quad (11p')$$

Insättes de givna värdena på  $q_2$  och  $q_1$  fås

$$\xi \simeq \frac{0,269}{\Delta h^{5/2}} \quad (11p)$$

### 7.5. Beräkning av $b_{d(T)}$ uttryckt i $b_b$ eller $\Delta h$

Med  $M_R = 0,65$  och  $M_T = 0,60$  får ekvation (12) formen

$$b_{d(T)} \simeq \frac{2,708 \cdot q_2^{2/5} (q_2^{2/5} - q_1^{2/5})^{3/2}}{(q_2^{2/3} - q_1^{2/3})^{3/2}} \cdot b_b \quad (12p_1)$$

Med  $q_2 = 1,92$  och  $q_1 = 0,3$  erhålles

$$b_{d(T)} \simeq 1,718 \cdot b_b \quad (12p_1)$$

Substitueras  $b_b$  med högra ledet av ekvation (9p) erhålles

$$b_{d(T)} \simeq \frac{1,026}{\Delta h^{3/2}} \quad (12p_2)$$

7.6. Beräkning av  $\Delta d$  uttryckt i  $\Delta h$ 

Med  $q_2 = 1,92$  och  $q_1 = 0,30$  kan ekvation (13) skrivas

$$\Delta d \approx 0,499 \cdot \Delta h \quad (13p)$$

7.7. Tabell över några exempel på praktisk tillämpning<sup>1)</sup>

$h_D$	$\Delta h$	$b_b$	$H_o(R)$	$\xi$	$b_d(T)$	Triangelbredd på nivån 27,25 mNN/1900/	$\Delta d$	$H_o(T)$
0,10	0,38	2,5	26,27	3,0	4,4	4,6	0,19	26,48
0,15	0,33	3,1	26,74	4,3	5,4	5,8	0,16	26,58
0,20	0,28	4,0	26,815	6,5	6,9	7,4	0,14	26,675
0,21	0,27	4,3	26,83	7,1	7,3	7,9	0,13	26,70
0,22	0,26	4,5	26,84	7,8	7,7	8,4	0,13	26,71
0,23	0,25	4,8	26,86	8,6	8,2	8,9	0,12	26,74
0,24	0,24	5,1	26,87	9,5	8,7	9,5	0,12	26,75
0,25	0,23	5,4	26,89	10,6	9,3	10,1	0,11	26,78
0,27	0,21	6,2	26,91	13,3	10,7	11,7	0,10	26,81
0,29	0,19	7,2	26,94	17,1	12,4	13,8	0,09	26,85
0,31	0,17	8,5	26,97	22,6	14,6	16,4	0,08	26,89
0,39	0,09	22,1	27,08	110,7	38,0	46,9	0,04	27,04

1) Se siffervärdena i avd. 7.1. på sid B4:10.

Bilaga 5

till

Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning.

Av Anders Bjerketorp

Underrättelse om pågående utredning rörande höjning av nivåerna  
===== vid lågvattenföring i sjökedjan i Forsmarksåns vattensystem upp-  
===== ströms Pierreslutan vid Lövestabruk  
=====

(Avgiven till Länsstyrelsens i Uppsala län Naturvårdsenhet  
den 21 december 1973 av Anders Bjerketorp)



UNDERRÄTTELSE

om pågående utredning rörande höjning av nivåerna vid lågvattenföring i sjökedjan i Forsmarksåns vattensystem uppströms Pierreslutan vid Lövestabruk.

I enlighet med Länsstyrelsens i Uppsala län uppdrag har undertecknad undersökt problemet att höja vattenstånden i sjökedjan uppströms Pierreslutan vid Lövestabruk under perioder med låg eller tämligen låg till- och avrinning. Problemet kan sägas vara tvåfaldigt. För det första skall sådana anordningar beräknas och konstrueras, att en viss dämning åstadkommes vid, och endast vid, lägre vattenföringar, samt att denna dämning vid varje bestämd vattenföring kommer att ha en given storlek. För det andra skall uppströmsverkan av en viss dämning beräknas eller skattas.

Den första delen av problemet har angripits efter två skilda modeller. Den första modellen (I) innebär att en dammbyggnad (överfallsvärn) av något närmare specificerat slag anlägges ett stycke uppströms den nuvarande slutan, en dammbyggnad vars profil allmänt kan betecknas som en parallelltrapets med den korta, vågrätt liggande sidan (=botten) betecknad  $b$  och med sidolutningen  $i = \tan \frac{\alpha}{2}$ , där  $\frac{\alpha}{2}$  är sidornas vinkel mot vertikalen. Då  $b = 0$  fås en triangel som specialfall, medan  $i = 0$  ger specialfallet rektangeln. Tabell 1 ger en översikt över modell I:s olika alternativa lösningar.

Den andra modellen (II) förutsätter att det i själva slutaröppningen anordnas en vågrätt överströmningsdamm (Profil A), samt att en sido- och avlastningskanal upptages till vänster om (= norr om) nuvarande åfåran i anslutning till den äldre fåra som gått fram här (Ingmar 1973, sid. 9 och bilaga 3), och att i denna fåra en andra överströmningsdamm insättes (Profil B). Endast när vattenföringen överstiger ett viss värde träder avlastningskanalen i funktion. Det givna vattenföringsvärdet för detta är ca  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Modell II har fördelen att vara mera flexibel än modell I. Ändring eller återställning av de hydrauliska förhållandena kan tämligen lätt åvägbringas. Tabell 2 visar de två olika alternativ som hittills har utarbetats enligt modell II.

Enligt den första modellens alternativ (I:1-6) stiger den nivå vid vilken ett givet flöde realiserar, så länge flödet understiger  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $H = 27,60$ ). När flödesmängden överstiger  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$  blir den gamla dammporten, dvs. slutan, bestämmande för vattenföringskurvans (avbördningskurvans) fortsatta förlopp. Nivån för ett givet flöde bör dock vid  $q > 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$  sjunka något i förhållande till nuvarande vattenföringskurva, under förutsättning att botten närmast nedströms slutan blir ordentligt upprensad, en åtgärd som föreslås även vid tillämpning av alternativgrupp II.

Enligt den andra modellens alternativ (II:1-2) stiger nivån för ett givet flöde, så länge flödet understiger  $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $H = 27,80$ ). Vid  $q > 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$  sjunker den nivå vid vilken ett givet flöde förverkligas. Nedgången är något mer utpräglad än den nedgång alternativet enligt modell I uppvisar vid större flöden än  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Eftersom begreppet tröskel i här berörda sammanhang ofta diskuteras, torde det vara lämpligt att understryka att en tröskels höjning eller sänkning i och för sig säger rätt litet om förändringen av de hydrauliska betingelserna. Man måste också känna till sektionsprofilens utformning före och efter ingreppet, liksom till aktuell flödesmängd, fallförhållanden m. m. Som exempel på hur olika resultat som kan erhållas med samma tröskelhöjning, kan väljas å ena sidan alternativ I:2 med tröskelhöjden 26,65 och en resulterande uppdämning av 0,28, 0,20 och 0,16 vid Pierreslutan resp. Ensjön och Finnsjön. Å andra sidan tänker vi oss ett alternativ med höjning av tröskeln från nuvarande 26,42 med 0,23 m till 26,65 genom anordnande av en vågrät, 4,0 m lång tröskel i denna nivå. Denna åtgärd skulle leda till en höjning av 0,05, 0,02 resp.  $< 0,01$  m av nivåerna vid normalt lägstvattenstånd vid Pierreslutan resp. Ensjön och Finnsjön.

Den andra delen av problemet enligt den inledningsvisa indelningen, dvs. frågan om dämningarnas uppströmsverkningar, har huvudsakligen lösts genom beräkning av teoretiska dämningsskurvor enligt en metod som framlagts av Bakhmeteff (1932) och tillämpningskompletterats av bl. a. Klameth (1958) och framförallt Felkel (1958). Alla dämningsberäkningar avser normalt lägstvatten. Vattenföringen är då enligt färskas beräkningar  $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ingmar (1973) anger ett för högt värde, beroende på brister i underlaget för hans uppskattning.

Tabell 1. Dammar enligt alternativgrupp I.

Nr	Dämning vid $q=0,33$	Nivån vid Pierreslutan när			Profilkaraktäristika	
		$q = 0$	$q = 0,33$	$q = 4,2$	b	i
	0,00	26,42	26,73	27,60		
I:1	0,22	26,56	26,95	27,60	0,00	2,5
I:2	0,28	26,65	27,01	27,60	0,00	3,1
I:3	0,34	26,84	27,07	27,60	0,93	4,0
I:4	0,39	26,97	27,12	27,60	2,80	3,3
I:5	0,44	27,06	27,17	27,60	5,03	1,4
I:6	0,50	27,14	27,23	27,60	6,60	2,0

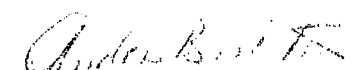
Tabell 2. Dammar enligt alternativgrupp II.

Nr	Dämning vid $q=0,33$	Nivån vid Pierreslutan när			Profilkaraktäristika			
		$q = 0$	$q = 0,33$	$q = 6,0$	A		B	
					b	i	b	i
	0,00	26,42	26,73	27,80				
II:1	0,22	26,75	26,95	27,80	2,1	0,0	0,0	4,1
II:2	0,28	26,81	27,01	27,80	2,1	0,0	0,0	4,8

Tabell 3. Höjning av vattennivån vid normal lägstvattenföring ( $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Nr	Pierreslutan	Ensjön	Finnsjön
1	0,22	0,15	0,11
2	0,28	0,20	0,16
3	0,34	0,25	0,20
4	0,39	0,30	0,25
5	0,44	0,35	0,30
6	0,50	0,40	0,34
	0,58	0,47	0,40

Uppsala den 21 december 1973

  
 /Anders Bjerketorp/

Förteckning över utkomna häften i serien STENCILTRYCK  
 =====

- Nr 1 Håkansson, A. 1952. Redogörelse för resultaten av 1951 års täckdikningsförsök. 71 sid.
- Nr 2 Håkansson, A. 1953. Redogörelse för resultaten av 1952 års täckdikningsförsök. 64 sid.
- Nr 3 Håkansson, A. 1954. Redogörelse för resultaten av 1953 års täckdikningsförsök. 84 sid.
- Nr 4 Berglund, G. & Eriksson, J. 1955. Redogörelse för resultaten av 1954 års täckdikningsförsök. 97 sid.
- Nr 5 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1956. Redogörelse för resultaten av 1955 års täckdikningsförsök. 59 sid.
- Nr 6 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1957. Redogörelse för resultaten av 1956 års täckdikningsförsök. 66 sid.
- Nr 7 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1958. Redogörelse för resultaten av 1957 års täckdikningsförsök. 56 sid.
- Nr 8 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1959. Redogörelse för resultaten av 1958 års täckdikningsförsök. 66 sid.
- Nr 9 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1960. Redogörelse för resultaten av 1959 års täckdikningsförsök. 70 sid.
- Nr 10 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1961. Redogörelse för resultaten av 1960 års täckdikningsförsök. 53 sid.
- Nr 11 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1962. Redogörelse för resultaten av 1961 års täckdikningsförsök. 59 sid.
- Nr 12 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1963. Redogörelse för resultaten av 1962 års täckdikningsförsök. 57 sid.
- Nr 13 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1964. Resultat av 1963 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 63 sid.
- Nr 14 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1965. Resultat av 1964 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 75 sid.
- Nr 15 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1966. Resultat av 1965 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 82 sid.
- Nr 16 Hallgren, G. 1940. Dalgångarna Fyrisån-Östersjön; Några hydrografiska och hydrotekniska studier. 30 sid.
- Nr 17 Hallgren, G. 1942. Om sambandet mellan grundvattenståndet och vattennivån i en recipient. 27 sid.
- Nr 18 Hallgren, G. 1943. Om sambandet mellan nederbörd och skördeavkastning. 161 sid.
- Nr 19 Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik. Elementär hydromekanik. 162 sid.
- Nr 20 Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik. Tabeller med kommentarer och exempel till Kompendium i elementär hydromekanik. 22 sid.
- Nr 21 Andersson, S. 1960. Kapillaritet. 115 sid.
- Nr 22 Andersson, S. 1961. Markens temperatur och värmehushållning. 25 sid.

- Nr 23 Johansson, W. 1962. Bevattningsförsök i potatis, korn och foderbetor vid Tönnersa försöksgrd 1959-1961. 13 sid.
- Nr 24 Johansson, W. 1962. Metodik och erfarenheter vid användning av hålkort för undersökning av torrlägningsförhållanden och ytsänkning vid Nedre Olandsån. 10 sid.
- Nr 25 Johansson, W. 1962. Utredning för förslag till bevattningsanläggning vid Sör Salbo, Salbohed, Västmanlands län. 9 sid.
- Nr 26 Andersson, S. 1963. Skrivningar i agronomisk hydroteknik. 50 sid
- Nr 27 Berglund, G. & Sjöberg, S. 1964. Undersökning av plaströrsdikningar. 15 sid.
- Nr 28 Håkansson, A. 1964. Anvisning rörande täckdikning med plaströr av styv PVC. 5 sid.
- Nr 29 Berglund, G. 1966. Vattendragsförbundet: Förslag till överenskommelse och stadgar samt något om kostnadsfördelningar 19 sid.
- Nr 30 Fahlstedt, T. 1966. Kvismaredalsprojektet -- en orientering samt Redogörelse för undersökning i syfte att klargöra avkastningens beroende av högvattenstånden i Kvismare kanal. 29 sid.
- Nr 31 Hallgren, G. 1966. Vattenrätt. 77 sid.
- Nr 32 Brink, N. 1966. Hydrologi. 17 sid.
- Nr 33 Jonsson, Y. 1967. Ytplanering med planersladd. 36 sid.
- Nr 34 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1967. Resultat av 1966 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 85 sid.
- Nr 35 Nitsch, U. 1967. Om östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål. 35 sid.
- Nr 36 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1968. Resultat av 1967 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 96 sid.
- Nr 37 Brink, N. 1968. Ansvarsfördelningen vid underhåll av vattendrag inom Sagåns vattensystem. 10 sid.
- Nr 38 Håkansson, A., Johansson, W. & Fahlstedt. 1968. Nederbördens storlek och fördelning. En detaljstudie av nederbördsdata från 16 nederbördsstationer. 175 sid.
- Nr 39 Berglund, G. 1968. Om genomsläppligheten i återfyllning och rörfogar. 14 sid.
- Nr 40 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1969. Resultat av 1968 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 83 sid.
- Nr 41 Brink, N. 1969. Kväve och fosfor i Sävjaån. 10 sid.
- Nr 42 Brink, N. 1969. Sagåns vatten. 33 sid.
- Nr 43 Johansson, W. 1970. Anvisningar för projektering och dimensionering av bevattningsanläggningar. 34 sid.
- Nr 44 Hallgren, G. 1970. Dränering av tomtmark, vägar, trädgårdar, kyrkogårdar, idrottsplatser, flygfält m. m. 140 sid.
- Nr 45 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1970. Resultat av 1969 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 73 sid.

- Nr 46 Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. 10 sid.
- Nr 47 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1971. Resultat av 1970 års täckdiknings-, bevattnings- och kalkförsök. 77 sid.
- Nr 48 Sandsborg, J. 1971. Exempelsamling i hydromekanik. 148 sid.
- Nr 49 Eriksson, J. 1971. Bevattning. Tropiskt jordbruk. 21 sid.
- Nr 50 Eriksson, J. 1971. Erosion. Tropiskt jordbruk. 27 sid.
- Nr 51 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1972. Resultat av 1971 års täckdiknings-, bevattnings- och kalkningsförsök. 78 sid.
- Nr 52 Andersson, S. 1972. Agrohydrologi. Skrivningar för 5 poäng med svar, lösningar och kommentarer. 100 sid.
- Nr 53 Berglund, G. 1973. Försök med påskyndad snösmältning. 11 sid.
- Nr 54 Kristiansson, L. & Sundell, G. 1973. Studier av arbetstiden för olika bevattningssystem. 81 sid.
- Nr 55 Andersson, P.-O. & Rydén, M. 1973. Studier av arbetstiden vid ändbogsering av spridarledning. 16 sid.
- Nr 56 Berglund, G. & Hofvendahl, G. 1973. Inventering av dämningssmöggheterna inom Sävjaåns avrinningsområde. 14 sid.
- Nr 57 Berglund, G. 1973. Slamavsättning i släta och i korrugerade dräneringar av plast. 25 sid.
- Nr 58 Bjerketorp, A. 1973. Envertikalmetoder med flytar- eller flygelmätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag. Preliminärt förslag. 86 sid.
- Nr 59 Bjerketorp, A. 1973. Fyra metoder för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag genom mätning av vattenhastigheten i en enda vertikal. 2:a, översedda uppl. 20 sid.
- Nr 60 Bjerketorp, A. 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag. Del I: Avkortade metoder vid flygelmätning: Några allmänna förutsättningar för mätningsspecifikationen och dess utvärdering. 32 sid.
- Nr 61 Andersson, Ö. & Bjerketorp, A. 1973. Vattenföringsmätning i små vattendrag med ytflytare enligt en maximalhastighetsmetod. 7 sid.
- Nr 62 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G., Linnér, H. & Eriksson, J. 1973. Resultat av 1972 års täckdiknings-, bevattnings- och kalkningsförsök. 88 sid.
- Nr 63 Andersson, Ö. 1973. Underhåll av vattendrag. II: Maskiner och redskap för mekanisk vegetationsbekämpning och slamrensning. 44 sid.
- Nr 64 Eriksson, J. 1973. Undersökning av olika typer av filter vid dränering. 14 sid.
- Nr 65 Sandsborg, J. 1973. Kompendium i elementär hydromekanik. I: Hydromekanikens grunder. 210 sid.
- Nr 66 Sandsborg, J. 1973. Kompendium i elementär hydromekanik. II: Hydromekanikens tillämpning. 116 sid.

- Nr 67 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1973. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. I. Stockholms och Uppsala län.
- Nr 68 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1973. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. II. Södermanlands och Östergötlands län.
- Nr 69 Linnér, H., Sundéll, G. & Johansson, W. 1974. Arbetsbehov, investering och årskostnader för olika bevattningssystem. 58 sid.
- Nr 70 Andersson, Ö. 1974. Underhåll av vattendrag. - III: Kemisk vegetationsbekämpning. 15 sid.
- Nr 71 Andersson, Ö. 1974. Föroreningsbelastning i vattendrag och risker vid bevattning med förorenat vatten.
- Nr 72 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1974. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. VI. Skaraborgs län.
- Nr 73 Bjerketorp, A. 1974. Beräkning av dämningsskurvor enligt Bakhmeteff-Felkels integreringsförfarande. Del I: Introduktion samt översiktstabell över enhetsdämningssvidder.
- Nr 74 Bjerketorp, A. 1974. Beräkning av dämningsskurvor enligt Bakhmeteff-Felkels integreringsförfarande. Del II: Detaljtabeller över enhetsdämningssvidder.
- Nr 75 Bjerketorp, A. 1974. Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. En preliminär utredning. 56 sid.



Denna skriftserie, benämnd Stenciltryck, utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Institutionen för markvetenskap, Lantbrukshögskolan. Serien utkommer i fri följd och innehåller undersökningsresultat och annat material, som avdelningen funnit angeläget att redovisa, men som av olika anledningar ej befunnits möjligt att framlägga i tryck, exempelvis i den från institutionen utgivna tidskriften Grundförbättring. Sådana anledningar kan vara att ett arbete är för omfångsrikt att trycka, är av mera preliminär natur eller vänder sig till en för liten grupp av läsare.

Serien finns tillgänglig vid avdelningen, och enskilda nummer kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

Adress: Lantbrukshögskolan, Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik, 750 07 Uppsala 7.

Address: Agricultural College of Sweden, Dept. of Soil Science, Div. of Agr. Hydrotechnics, S-750 07 Uppsala 7, Sweden.